



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jarkko Takala

Työstökoneen kunnostus ja käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

21.8.2020

Tekijä Otsikko	Jarkko Takala Työstökoneen kunnostus ja käyttöönotto
Sivumäärä Aika	51 sivua + 5 liitettä 21.8.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Jarmo Ojalampi Lehtori Timo Tuominen
<p>Tämän työn tarkoituksena oli kunnostaa seisonnassa ollut kolmiakselinen ARGO A-1 -työstökone FANUC 0M-C -ohjauksella. Opinnäytetyö toteutettiin Tmi Jarmo Ojalammille.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kunnostaa ja käyttöönottaa työstökone yrityksen käyttöön sekä selvittää tapoja ajaa pidempiä 3D-työstöohjelmia vanhalla ohjauksella, jonka muisti ei riittänyt pitkien ohjelmien tallentamiseen. Myös ohjauksen uudistamista kartoitettiin tulevaisuutta ajatellen.</p> <p>Työ alkaa teoriaosuudella työstökoneista, joka käsittelee työstökoneiden historiaa, erilaisia työstökoneita, työstökoneiden liikettä ja numeerista ohjausta. Työstökoneiden yleisen osuuden jälkeen siirrytään työn kohteena olleeseen työstökoneeseen, sen ohjaukseen sekä koneen kunnostukseen ja käyttöönottoon. Tämän jälkeen käsitellään pidempien modernien työstöohjelmien luontia, kommunikointia tietokoneen ja työstökoneen välillä sekä työssä tehtyä testiohjelmaa ja sen suoritusta. Lopussa kartoitetaan mahdollisuuksia koneen ohjauksen uudistamiseen. Työn tiedot saatiin verkkolähteistä, alan kirjallisuudesta sekä valmistajien laatimista dokumenteista.</p> <p>Työn tuloksena työstökoneen kriittisimmät alueet saatiin kunnostettua ja käyttöönottovaiheessa ajatun testiohjelman avulla koneen toiminta saatiin todennettua. Testiohjelma siirrettiin sarjakaapelin välityksellä työstökoneeseen usealla tavalla, joten kommunikointi ja pidempien työstöohjelmien ajo saatiin myös todennettua. Ohjauspaneelin käytöstä tehtiin myös käyttöohjeet yrityksen käyttöön.</p>	
Avainsanat	CNC, Numeerinen ohjaus, Työstökone, FANUC

Author Title	Jarkko Takala Renovation and Commissioning of a Milling Machine
Number of Pages Date	51 pages + 5 appendices 21 August 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Jarmo Ojalammi, CEO Timo Tuominen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this work was to renovate a three-axis ARGO A-1 + APC machine tool with Fanuc 0M-C control that had been idle. The thesis was carried out for Tmi Jarmo Ojalammi.</p> <p>The aim of this thesis was to renovate and commission the machine tool for company use, and to find out ways to run longer 3D machining programs with the old control system that does not have enough memory to store the programs. In addition, the renewal of the control was mapped for the future.</p> <p>The thesis begins with a theoretical part on machine tools, which includes the history of machine tools, different types of machine tools, machine tool movement and numerical control. After that, the thesis focuses on the repair and commissioning of the milling machine. This is followed by theory about creation of longer modern machining programs, communication between the computer and the machine tool, as well as the test program created and executed in the work. At the end, the possibilities for renewing the machine's control are mapped. Information on the work was obtained from online sources, the literature in the field, and documents prepared by the manufacturers.</p> <p>As a result of the work, the most critical areas of the machine tool were renovated, and the operation of the machine was verified with the help of a test program run during the commissioning phase. The test program was transferred to the machine tool via a serial cable in several ways, so communication and the execution of longer machining programs could also be verified. Instructions for the use of control panels were also made for the use of the company.</p>	
Keywords	CNC, Numerical Control, Milling Machine, FANUC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työstökoneet	2
2.1	Työstökoneiden historia	2
2.2	CNC-työstökonetyypit	3
2.3	Työstökoneen liike	5
2.3.1	Offset	6
2.3.2	Akselisuus	6
2.4	Numeerinen ohjaus	9
2.4.1	Tietokonenumeerinen ohjaus	9
2.4.2	Suora numeerinen ohjaus	11
2.4.3	G-koodi	12
3	ARGO A-1 +APC -työstökone	15
3.1	ARGOn historia	15
3.2	ARGO A-1 +APC -vertikaali työstökone	15
3.2.1	Työstötila	16
3.2.2	Automaattinen paletinvaihtaja	18
3.3	Kunnostus	19
3.3.1	Paineilma	19
3.3.2	Akselien huolto	20
3.3.3	Voitelujärjestelmä ja nesteet	21
3.4	Fanuc 0M-C -ohjausyksikkö	21
3.4.1	Ohjauspaneeli	22
3.4.2	Fanuc-historia	24
3.4.3	Ohjelmointi	24
3.5	Käyttöönotto	25
4	CAD/CAM-ohjelmistot	27
4.1	Kommunikointi tietokoneen ja ohjausyksikön välillä	28
4.1.1	RS-232	29

4.1.2	Parametrit ja muut asetukset	33
4.1.3	Datan siirto	36
4.1.4	Drip-feeding	37
4.2	Testiohjelma	37
4.2.1	Fusion 360 ja CAD/CAM	37
4.2.2	WCS, offsetit ja työstökappaleen kiinnitys	42
4.2.3	Ohjelman ajo	43
5	Kartoitus ohjauksen uudistamisesta	45
6	Yhteenveto	47
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Työstökoneen ulkomitat	
	Liite 2. Karan kierrosluku- ja vääntömomenttikaavio	
	Liite 3. BT-40-kartion ja työkalujen maksimitat	
	Liite 4. Ohjauspaneelin nappien ja valitsimien funktiot	
	Liite 5. Työstökoneen käyttöönottoon liittyvä testiohjelma	

Lyhenteet

APC	Automatic pallet changer. Työstökoneen hydraulikalla toimiva automaattinen paletinvaihtaja.
APT	Automatically programmed tool. Korkeatasoinen ohjelmointikieli, jota on yleisimmin käytetty NC-työstökoneissa.
ATC	Automatic tool changer. CNC-koneessa oleva automatisoitu osa, joka vaihtaa työstötyökalun automaattisesti.
CAD	Computer aided design. Kolmiulotteisten geometrinen mallien luonti tietokoneavusteisesti.
CAM	Computer aided manufacturing. Viitataan yleisesti ohjelmistoon, jolla työstökoneiden CNC-ohjelmoinnit luodaan.
CNC	Computer numerical control. Tietokoneohjattu numeerinen ohjaus.
DNC	Direct numerical control/distributed numerical control. Suora numeerinen ohjaus/hajautettu numeerinen ohjaus.
EIA-koodi	Electronic Industries Association. Elektroniikkateollisuusyhdistys. NC-koodi, jota kutsutaan myös nimellä RS-244. Koodi on binaarikoodattua desimaalia.
HRC	Hardness Rockwell C. Rockwell-asteikko on kovuusasteikko, jolla mitataan materiaalien kovuutta.
ISO-koodi	International Organization of Standardization. Kansainvälisen standardisoinnisjärjestön määrittämä kieli, joka koostuu binaarikoodatuista desimaaleista.
MCU	Machine control unit. Koneohjausyksikkö, joka ohjaa konetta.

MDI	Manual data input. Manuaalinen datan syöttö. Moodi työstökoneen ohjauspaneelissa. Tässä moodissa voidaan käsin syöttää komentoja työstökoneelle.
MIT	Massachusetts Institute of Technology. Teknillinen korkeakoulu Cambridgen kaupungissa Yhdysvalloissa.
NC	Numerical control. Numeerinen ohjaus.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
USB	Universal serial bus. Sarjaväyläarkkitehtuuri, jota käytetään laajalti tietokoneiden liittämiseen sen oheislaitteisiin.
WCS	Work coordinate system. CNC-ohjelmoijan päättämä koordinaatisto suhteessa työstökohteeseen.

1 Johdanto

Nykyään CNC-työstökoneet ovat olennainen osa jokaisella tuotealalla niin pienyrityksissä kuin myös isojen yritysten massatuotannossa. CNC-työstökoneet on luotu korvaamaan perinteiset työstötyökalut tuotannon tehostamiseksi ja laadun parantamiseksi. Suunnittelu- ja valmistusohjelmistojen kehittyessä ovat myös entistä monimutkaisemmat 3D-työstöohjelmat yleistyneet, mutta vanhojen työstökoneiden ohjausyksiköiden muisti ei riitä nykyaikaisten ohjelmien tallentamiseen. Tmi Jarmo Ojalampi halusi näistä syistä kunnostaa ja ottaa käyttöön seisonnassa olleen 90-luvun lopun työstökoneen sekä selvittää mahdollisuutta laajempien työstöohjelmien ajamiseen, mistä muodostui tämän opinnäytetyön aihe.

Päätavoitteena tässä työssä oli vanhan seisonnassa olleen kolmiakselisen työstökoneen kunnostaminen ja käyttöönotto sekä pidempien CAD/CAM-ohjelmistolla luotujen työstöratojen suorittaminen koneella, joka vaati sarjakommunikointia tietokoneen ja työstökoneen välillä. Tavoitteena oli myös tutkia työstökoneita yleisellä tasolla ja kartoittaa työstökoneen ohjauksen uudistamista.

Työ alkaa teoreettisella pohjustuksella työstökoneiden historiasta, erityyppisistä työstökoneista, työstökoneen liikkeestä sekä numeerisesta ohjauksesta. Pohjustuksen jälkeen työ keskittyy työn kohteena olleeseen ARGO A-1 +APC -työstökoneeseen, sen FANUC 0M-C -ohjaukseen sekä työstökoneen kunnostus- ja käyttöönottovaiheeseen. Tämän jälkeen käsitellään CAD/CAM-ohjelmistoja, sekä niillä luotujen työstöohjelmien suorittamista työstökoneella. Ohjelmien siirtämiseen työstökoneelle liittyy sarjakommunikointi tietokoneen ja työstökoneen välillä. CAD/CAM-ohjelmistoluvussa puhutaan myös työssä luodusta testiohjelmasta ja sen suorittamisesta. Lopussa pohditaan erilaisia mahdollisuuksia modernisoida työstökoneen ohjausta.

2 Työstökoneet

2.1 Työstökoneiden historia

Ensimmäinen täysin automaattinen tornisorvi kehitettiin vuonna 1873 Christopher Spencerin toimesta. Ennen toista maailmansotaa automaatio toteutettiin pääsääntöisesti kokonaan epäkeskoilla, releohjauksella, sekä hydraulisella voimansiirrolla. Todellinen automaatio saavutettiin vasta tietokoneiden tulon myötä. [1, s. 429.]

NC-työstökoneiden kehittäjinä pidetään laajasti Massachusetts Institute of Technologya (MIT) ja amerikkalaista Parsons Corp. -yritystä. Vuonna 1946 John Parsons käytti ensimmäistä kertaa tietokonetta tuotannossa, vaikkakin tietokoneena toimi vain yksinkertainen rei'itetyn kortin laskin. Parsons sai sopimuksen Yhdysvaltain ilmavoimilta kehittää kone, joka tekisi siipiä hävittäjälentokoneisiin vuonna 1948. Resurssien ja tietotaidon puutteen vuoksi Parsons otti aliurakoitsijaksi MIT:n servomekanismien laboratorion. MIT osti vuonna 1950 ylijäämä-Hydro-Tel-jyrsinkoneen sen kehittämistä varten Cincinnati Milling Machine Companylta ja teki sopimuksen Yhdysvaltain ilmavoimien kanssa ilman Parsonsia. Koneen ohjaus sisälsi releitä ja elektroniputkia. Kyseisen koneen on laajasti myönnetty olevan ensimmäisen generaaation NC-työstökone. [1, s. 429.]

Yhteistyö osapuolien välillä jatkui 1952–1958. Tällöin NC-järjestelmät ohjelmoitiin käsin ja ohjelmointien tekeminen vei paljon aikaa. Tutkija D. Ross teki vuonna 1956 ohjelmistoratkaisuun tärkeimmät parannukset, jotka myöhemmin johtivat APT:n (automatically programmed tool) syntyyn. NC-teknologia levisi näihin aikoihin jyrsinkoneista myös muihin työstökoneisiin, kuten sorveihin ja NC-ohjauksesta tuli CNC-ohjaus (computer numerical control). [1, s. 429.]

Toisen generaaation NC-teknologia oli vuoteen 1959 mennessä tullut hallitsevaksi. Tämä teknologia karakterisoitiin transistoreilla ja painetuilla piirilevyillä. Kolmas generaatio oli vuoteen 1965 mennessä otettu käyttöön, ja se edusti pienempiä, luotettavampia ja energiatehokkaampia integroituja piirejä. Neljänneksi generaatioksi mielletään NC-systeemit, jotka sisälsivät minitietokoneen. Ensimmäisen kerran tällainen systeemi esiteltiin vuonna 1970 International Machine Tool Show'ssa. Viides generaatio saapui mikroprosessorien

myötä. Tämä sisälsi huomattavasti halvempaa ja luotettavampaa laajamittaista integroitua piiriteknologiaa. [1, s. 429–430.]

Vuonna 1958 kehitettiin Milwaukee-Matic 2, ensimmäinen kaupallinen työstökeskus. Tämä työstökeskus lisäsi automaattisen työasemoinnin sekä automaattisen työkalun vaihdon (ATC). Tämä mahdollisti useiden operaatioiden, kuten esimerkiksi poraamisen ja väljentämisen tekemisen yhdellä koneella. Tuottavuus kasvoi suuresti, kun ei-tuottavaa aikaa saatiin pienennettyä ja työtä automatisoitiin. Vuonna 1966 työstökeskukset esiteltiin ensimmäistä kertaa Chicagossa. Monet alat kiinnostuivat suuresti työstökeskuksista, josta alkoi niiden nopea kehitys. [1, s. 430.]

Nykypäivänä NC-työstökoneet ovat laajalti käytettyjä tuotantotöissä ympäri maailmaa niiden tarjoamien etujen takia. NC-teknologia on mahdollistanut kompleksisten muotojen nopean tuotannon sekä työstöjen korkean laadun. Myös operaatioiden joustavuus on etuna verrattuna tavanomaisisiin työstötyökaluihin. Nykypäivänä NC-teknologia on levinnyt moniin erilaisiin konetyyppeihin. [1, s. 431.]

2.2 CNC-työstökonetyypit

Erilaisia CNC-työstökonetyyppejä on nykypäivänä monia. Erilaiset CNC-koneet ovat työstökoneita, joita voi ohjelmoida tekemään erilaisia tehtäviä koneen tyypin mukaan. Yleisimpiä CNC-koneita ovat:

- sorvit
- routerit
- jyrsinkoneet
- plasmaleikkauskoneet
- laserleikkauskoneet
- 3D tulostimet
- 5-akseliset koneet
- ”pick and place” koneet. [2; 3.]

Sorveissa työstettävän kohteen pyöriessä karassa tuodaan jokin sorvin työkaluista ja painetaan se kiinni kohteeseen halutun muodon vaatimalla tavalla. Työkalut voivat olla

esimerkiksi hioma-, poraus- tai leikkaustyökaluja. Sorvin pyöriessä muodostuu kohteeseen symmetrisyys sitä työstäessä. Tämän takia sorvilla työstettävät kohteet ovat symmetrisiä, kuten palloja tai sylintereitä. Usea-akseliset sorvit pystyvät suorittamaan monimutkaisia työstöohjelmia, mutta yleensä sorvit ovat 2-akselisia. Sorveilla voidaan myös työstää useita eri materiaaleja, kuten puuta ja metallia. Sorvi mielletään työstökoneista monipuolisimmaksi. [4.]

Routerit ovat yleensä 3-akselisia ja leikkaavat suurimittaisia paloja metallia, muovia tai puuta. Leikkaukset voivat olla esimerkiksi ovikaiverruksia. Prototyypimalleihin ja monimutkaisiin muotoihin on tarjolla 4-, 5- ja 6-akselisia koneita. [2; 3.]

Jyrsinkoneet ovat iso joukko eri kokoisia ja tyyppisiä koneita, jotka voivat operoida usealla eri akselilla. Jyrsinkoneet poistavat materiaalia työstökohteesta erilaisilla työkaluilla, kuten erilaisilla porilla yleensä tasaiselta pinnalta. Jyrsimillä voidaan kuitenkin tuottaa epäsäännöllisiä muotoja ja työstää eri materiaaleja riippuen koneesta. [5.] Tämän työn kohteena ollut työstökone on jyrsinkone.

Plasmaleikkauskoneet ovat koneita, joilla voidaan leikata metallisia kappaleita, kuten metallilevyjä, putkia ja pultteja keskittämällä plasmasuihku haluttuun kohtaan. CNC-plasmaleikkausta käytetään, kun käsipolttimella ei saavuteta tarpeeksi hyvää tarkkuutta ja leikkauksen reunan laatua. [6.]

Laserleikkauskoneilla voidaan leikata ja kaivertaa eri materiaaleja, kuten puuta ja metallia. Työstökohteeseen kohdistetaan erittäin voimakas valo, joka heijastetaan linssien tai peilien kautta. [7.]

3D-tulostimet tulostavat kolmiulotteisia kappaleita tietokoneohjatusti kerros kerrokselta. 3D-tulostimet eroavat työstötavallaan monista muista työstökoneityypeistä, koska ne muokkaavat kappaletta tyhjästä eli lisäävät materiaalia poistamisen sijasta. Tietokoneohjelma kertoo, minne tulostimen tulee laskea materiaalia, jotta saavutettaisiin haluttu malli. 3D-tulostimessa on myös laser, joka kiinteyttää rakennemateriaalia. [2; 3.]

5-akseliset CNC-koneet mielletään yleensä omaksi ryhmäkseen. 5-akselinen kone mahdollistaa työstökohteen tai työkalun liikuttamisen samaan aikaan viidellä akselilla, jonka

avulla voidaan työstää todella monimutkaisia malleja. Kone liikkuu akseleilla X, Y ja Z, sekä kahden akselin ympäri. Kuudennen akselin lisääminen koneeseen on mahdollista, mutta yleensä ei tuo merkittävästi etuja 5-akseliseen koneeseen. [8.]

"Pick and place" -koneet ovat samantapaisia kuin routerit, mutta ne eivät leikkaa mitään. Koneessa on pieniä suuttimia, jotka nostavat ja siirtävät komponentteja imun avulla. Tällaisilla koneilla voidaan tehdä esimerkiksi tietokoneen emolevyjä. [2; 3.]

2.3 Työstökoneen liike

Työstökone navigoi eri paikkoihin akselien kotipisteiden sekä työ- ja työkalu-offsettien avulla. Kone ei tiedä, missä kohdassa sen akselit ovat, kun se käynnistetään ensimmäistä kertaa. Akselien kotipisteet ovat lähellä niiden mekaanisia rajoja. Akselit ajetaan hitaasti kohti niiden mekaanista rajaa, kunnes ne laukaisevat kytkimen tai saavuttavat kotipisteille määritetyt ohjelmalliset rajat. Joissain työstökoneissa akselit voidaan ajaa samanaikaisesti kotipisteisiin, mutta joissain työstökoneissa kotipisteisiin ajo suoritetaan yksi akseli kerrallaan. Kun kaikki akselit ovat saavuttaneet kotipisteen kytkimen, tietää ohjausyksikkö akselien koordinaatit ja näitä koordinaatteja käytetään tästä eteenpäin suhteessa koneen todellisiin konekoordinaatteihin. Tätä koordinaatistoa kutsutaan CNC-konekoordinaattijärjestelmäksi. Koordinaatiston yksiköt ovat usein itse määriteltävissä millimetreiksi tai tuumiksi. Koneen referenssi- eli kotipisteet voivat sijaita eri kohdissa suhteessa karaan riippuen työstökoneesta. Tärkeää ohjelmointivaiheessa on muistaa ohjelmoida työkalun liikkeen mukaisesti pöydän liikkeen sijasta. Esimerkiksi, kun työkalua halutaan siirtää oikealle, on pöytää tuotava vasemmalle. Sama idea toimii myös Y-akselilla. [9.]

Työkoordinaattijärjestelmää (WCS) käytetään kohteen työstöä ohjelmoidessa ja sen päättää CNC-ohjelmoija. Konekoordinaattijärjestelmää olisi epäkäytännöllistä käyttää työstössä, koska tällöin olisi vaikea löytää helposti tunnistettavaa relaatiota työstökappaleeseen. Ohjelma koostuisi suurista luvuista kotipisteiden koordinaattien ääriarvojen takia. WCS on CNC-ohjelmoijan valitsema piste työstökappaleessa, joka toimii työkoordinaatiston origona, eli koordinaatti on nolla joka akselilla. Piste voi olla missä tahansa paikassa, mutta yleensä piste on sama kuin CAD-muodossa olevan osan alkupiste. WCS-piste pitää pystyä löytämään mekaanisesti korkealla tarkkuudella ja sen täytyy olla

toistettavissa. Pisteen tarkkuus on normaalisti ± 0.001 tuumaa eli noin ± 0.025 millimetriä tai vähemmän. Mekaanisesti pisteen voi määrittää erilaisilla osa-antureilla, reunatunnistimilla tai koaksiaalisilla osoittimilla. Osaa saatetaan kiertää ja siirtää työstön aikana, joka asettaa rajoituksia WCS-pisteen määrittämiselle. [9.]

2.3.1 Offset

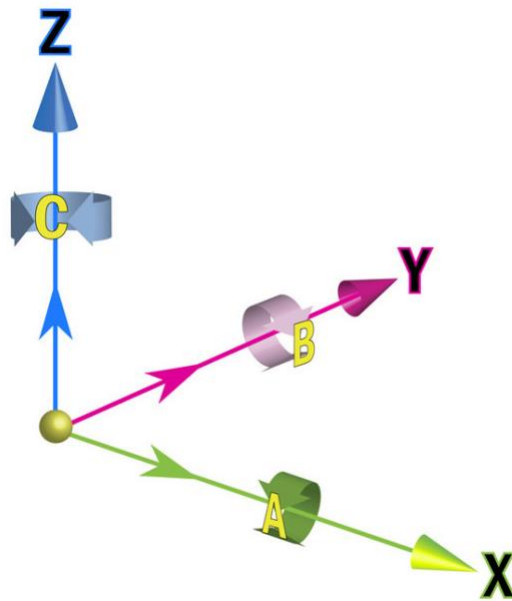
Työ (work) offset saadaan, kun suoritetaan laskutoimitus konekoordinaattien ja WCS koordinaattien välillä. Työ-offset kertoo koneelle siirtymän WCS:n ja kotipisteen välillä, jonka avulla kone operoi. Kone vertaa WCS-nollakohdan koordinaatit konekoordinaattijärjestelmän kotipisteisiin ja laskee akselien siirtymiä. X- ja Y-akseleilla nollakohdat määritetään esimerkiksi reunatunnistimilla haluttuun työstökohteen kulmaan. Z-akselilla työkalu lasketaan työkaluanturin, työkohteen tai niin sanotun 1–2–3-blokin päälle. Z-akselin offset on siirtymä kotipisteestä WCS nollakohtaan ottaen huomioon työkalun tai työkaluanturin pituuden sekä mahdollisen 1–2–3-blokin korkeuden. [9.]

Työkaku (tool) offset tai TLO (tool length offset) mitataan ja asetetaan jokaiselle työkalulle erikseen aina, kun ne ensimmäistä kertaa asetetaan koneeseen tai vaihdetaan uuteen esimerkiksi kulumisen takia. Myös työkalun halkaisija voidaan asettaa joissakin koneissa. Koneen on oikein navigoidakseen tiedettävä jokaisen työkalun pituus. TLO on tallennettu ohjausyksikköön jokaiselle työkalulle, ja se kertoo CNC-koneelle työkalujen numeron, kärjen etäisyyden karasta ja mahdollisesti työkalun halkaisijan, jotta kone voi ottaa eri kokoiset työkalut huomioon työstössä ja välttää törmäykset. TLO-arvot määritetään käytettäväksi ohjelmointi vaiheessa. [9.]

2.3.2 Akselisuus

Työstökoneiden akselisuus vaikuttaa suuresti koneiden käyttökohteisiin ja käyttömahdollisuuksiin. Akselien määrä vaikuttaa koneen kykyyn työstää työstökohteen eri osia ja työstön yksityiskohtiin. Akselit ovat X, Y ja Z, sekä A, B ja C. Pystysuorisessa työstökoneessa X-akseli tarkoittaa koneen horisontaalia akselia ja A-akseli kiertoliikettä X-akselin ympäri. Y-akseli tarkoittaa koneen syvyys akselia ja B-akseli kiertoliikettä Y-akselin ympäri. Z-akseli tarkoittaa koneen vertikaalia akselia ja C-akseli kiertoliikettä Z-akselin ympäri. [8.] Kiertoliikeakselit A, B ja C kiertävät yleensä 180 asteen alueella akselien ympäri,

mutta kiertoliike voi tapahtua myös isommalla alueella [10]. Kuvassa 1 on visualisoitu mainitut akselit.



Kuva 1. Visualisointi pystysuoraisen työstökoneen akseleista [8].

Koneet ja projektit voivat olla:

- 2-akselisia
- 2,5-akselisia
- 3-akselisia
- 4-akselisia
- 5-akselisia
- 6-akselisia [10].

2-akselinen kone toimii X- ja Y-tasossa, ilman Z- eli vertikaalitasoa. Ympyräkaaria ja kulmaviivoja voidaan luoda, kun X- ja Y-akselit interpoloivat samanaikaisesti. [10.]

2,5-akselinen kone omaa 3-akselia, mutta vain XY-tasossa voidaan liikkua samanaikaisesti. Z-tasossa eli vertikaalissa tasossa voidaan kuitenkin säätää korkeutta tarvittaessa XY-tason operaatioiden välissä. 2,5-akseliset koneet sisältävät osajoukon, jossa voidaan

interpoloida samanaikaisesti mitä tahansa kahta akselia, mutta ei kolmea. Tämän osajoukon koneilla on mahdollista interpoloida XY-, XZ- ja YZ-tasoissa, joka mahdollistaa rajallisen määrän 3D-projekteja. [10.]

3-akseliset koneet toimivat XYZ-tasossa eli kolmella akselilla samanaikaisesti. Suurin osa vapaamuotoisista pinnoista vaatii vähintään kolmen akselin samanaikaisen liikkeen. [10.]

4-akselisissa koneissa on XYZ-akselit, sekä yksi kiertoliike akseli, joka on yleensä A-akseli. 4-akseliset koneet voidaan jakaa kahteen ryhmään. Toisessa ryhmässä on neljän akselin asemointi ja toisessa neljän akselin samanaikainen interpolointi. Neljän akselin asemointi tarkoittaa, että kohde voidaan asemoida neljällä akselilla kolmen akselin operaatioiden välissä. Neljän akselin samanaikainen interpolointi tarkoittaa, että kone voi operoida samanaikaisesti kaikilla neljällä akseleilla. Tätä kutsutaan yleisesti myös todelliseksi neljänneksi akseliksi. [10; 11.]

5-akseliset koneet toimivat XYZ-akseleilla ja kahdella kiertoliike akselilla, jotka voivat olla mitkä tahansa kaksi A-, B- ja C-akseleista. 5-akselisista koneista on useita versioita. Todellinen viides akseli tarkoittaa 5 akselin samanaikaista interpolointia. Muita vaihtoehtoja viisi akselisiin koneisiin ovat 3+2- ja 4+1-rakenteet. Luvut kertovat samanaikaisesti liikkuvien akselien määrän, johon lisätään asemointi akselit. 3+2 tarkoittaa, että koneessa on kolmen akselin samanaikainen interpolointi ja kaksi erillistä akselia vain asemointia varten operaatioiden välissä. 4+1 on harvinaisempi rakenne ja tarkoittaa, että koneessa on neljä samanaikaisesti interpoloivaa akselia ja yksi erillinen vain asemointia varten oleva akseli. 5-akselisilla koneilla voidaan työstää erittäin monimutkaisia kokonaisuuksia todella tarkasti ja nopeasti, mutta ohjelmointiaika on yleensä suurempi. [10; 11.]

6-akseliset koneet toimivat XYZ- ja ABC-akseleilla. Etuna 5-akselisiin koneisiin on tuotantoaika riippuen suuresti, minkälainen työstö on kyseessä. Nämä koneet eivät ole yleisiä, koska ne ovat kalliita eivätkä tarjoa yleensä suuria etuja verrattuna 5-akselisiin koneisiin. [12.]

2.4 Numeerinen ohjaus

Numeerinen ohjaus (NC) on ohjelmoitavan automaation yksi muoto. Työstökoneet käyttävät pääasiallisesti numeerista ohjausta, mutta tekniikka on levinnyt myös muihin toimintoihin. NC-järjestelmä koostuu ohjelmoidusta ohjelmasta, koneohjausyksiköstä (MCU) sekä työstökoneesta. NC-ohjelma sisältää numeroita, kirjaimia ja erikoismerkkejä. MCU ymmärtää eri merkit ja ohjaa mekaanista koneistusprosessia. Ohjelman toimintasekvenssit tulkitaan halutussa muodossa ja halutulla välineellä. Erilaisia muotoja ovat aakkosnumeerinen, symbolinen ja numeerinen muoto ja työkaluna usein toimii reititetty nauha. [13.]

Ohjausyksikön elektroniset laitteet sekä muu laitteisto tyypillisesti koostuvat:

- konetyökalun signaalilähtökanavista
- sekvenssiohjauksesta
- työstökoneen palautekanavista
- nauhalukijasta
- datapuskurista [13].

Ohjausyksikön tehtävänä on ymmärtää ohjelma ja muuntaa se mekaaniseksi työstöraidoiksi. Työstökone hoitaa mekaanisen työstön erilaisilla työvälineillä, leikkuutyökaluilla ja apulaitteilla. [13.]

Perinteinen NC sisältää monia huonoja puolia verrattuna uudempaan tietokoneohjattuun numeeriseen ohjaukseen (CNC). Syöttö ja nopeus eivät ole optimaalisia. Reititetyllä nauhalla on lyhyt käyttöikä sen jatkuvan kulumisen takia ja ohjelmointivirheet ovat yleisiä. Ohjausyksikkö ei ole yhtä luotettava ja joustava. [13.]

2.4.1 Tietokonenumeerinen ohjaus

Nykypäivänä kaikki uudet numeerisen ohjauksen omaavat koneet ovat tietokonenumeerisella ohjauksella (CNC) toimivia koneita, jonka takia usein CNC-koneita sanotaan yksinkertaisesti NC-koneiksi. CNC-järjestelmässä ohjelma siirretään kokonaan laitteen muistiin ennen sen suorittamista toisin kuin perinteisessä NC-järjestelmässä, jossa ohjelma luetaan lohko kerrallaan. CNC-järjestelmä sisältää tallennustilan NC-ohjelmalle,

mikrotietokoneen, joka suorittaa ohjelmistotoiminnot sekä tietokoneen käyttöliittymän ja servojärjestelmän. [13.]

Yleisiä ominaisuuksia liittyen CNC-järjestelmiin ovat:

- tallennustila usealle ohjelmalle
- ohjelman muokkaaminen paikan päällä
- aliohjelmien ohjelmointi ja kiinteät jaksot
- interpolointi
- asemointiominaisuudet
- terän mittojen kompensointi
- diagnostiikka
- viestintärajapinta [13].

CNC-ohjelmointi tuo monia hyötyjä. Ohjaus on huomattavasti joustavampaa. Ohjelmointiyksiköille voidaan suorittaa metristä muuntamista. Ohjelmat täytyy syöttää vain kerran koneen muistiin ja niitä voidaan muokata suoraan työstökoneen luona. CNC-ohjelmointi ja koko valmistustietojärjestelmä ovat yhteensopivia. [13.]

Työstö voidaan CNC-ohjelmoida manuaalisesti, tietokoneavusteisesti, keskustelumaisesti paikan päällä, parametrisesti sekä tietokoneavusteisella piirtämisellä (CAD) ja valmistuksella (CAM). Manuaalisessa ohjelmoinnissa kaikki työstöradat on selvitettävä ja laskettava manuaalisesti osapiirroksista. Näistä tiedoista ohjelma luodaan. Manuaalinen ohjelmointi on vanhin tapa luoda työstöohjelmia, mutta se on edelleen käytössä. [13.]

Tietokoneavusteinen ohjelmointi nopeuttaa ohjelmointiaikaa, kun työstökohteen monimutkaisuus kasvaa. Tietokoneavusteista ohjelmointia tarvitaan tiettyjä työstöratioja tehtäessä. Ohjelmoitaessa tietokoneavusteisesti tietokone suorittaa monimutkaiset ja työläät laskut ohjelmoijan antamien tietojen avulla. Ohjelmoija kuvaa kappaleen geometriaa ja haluttua työstörataa käyttäen korkeatasoista kieltä, jonka jälkeen tietokone laskee työstöradat ottaen huomioon vaaditut asiat, kuten esimerkiksi TLO:t ja osakaaret. Myöhemmin ratojen tiedot voidaan muokata tietyn työstökoneen ymmärtämään muotoon. [13.] CAD- ja CAM-ohjelmistojen käytöstä CNC-ohjelmoinnissa puhutaan luvussa 4 tarkemmin.

Keskusteluohjelmointi tapahtuu työstökoneen käyttäjän ja keskusteluohjelmointiohjelmiston välisenä interaktiivisena toimena. Työstökoneen käyttäjä tai ohjelmoija antaa tietoja ohjelmiston tarpeiden mukaan, ja nämä tiedot käännetään muodostamaan tietyn työstökoneen CNC-ohjelma. Yleensä nämä ohjelmistot sijaitsevat työstökoneen ohjainyksikössä, jonka takia kanssakäynti tapahtuu paikan päällä koneen luona. [13.]

Parametrissa ohjelmointia käytetään, kun halutaan parantaa muita ohjelmointimenetelmiä entisestään. Työstökohteen geometriaa voidaan kuvata erilaisilla muuttujilla, joille syötetään arvoja. Nämä muuttujat ja niiden sisältämät arvot tekevät kohteesta yksilöidyn. Tämä luo varsinaiset työstöradat. [13.]

2.4.2 Suora numeerinen ohjaus

Suorassa numeerisessa ohjauksessa (DNC) järjestelmän heikoin komponentti, nauhalukija, ei ole käytössä. Koneita ohjataan suoran tietokoneyhteyden avulla reaaliajassa. DNC mahdollistaa myös useamman työstökoneen ohjaamisen samanaikaisesti. Teoriassa ohjattavien työstökoneiden lukumäärä voi yltää 256 koneeseen asti. Työstökoneen tarvittaessa ohjauskomentoja DNC lähettää komennot välittömästi. DNC alkuperäisesti lyhennettiin sanoista direct numerical control, mutta nykyään sanat distributed numerical control ja distributive numerical control ovat myös usein käytettyjä. DNC-järjestelmä koostuu keskustietokoneesta ja siihen liitetystä massamuistilaitteesta, johon NC-ohjelmat tallennetaan. Sieltä ohjelmat lähetetään telekommunikointilinjoja pitkin yhdelle tai usealle työstökoneelle. [13.]

DNC-ohjauksen hyötyjä on useita. Koneiden luotettavuus kasvaa, kun nauhoja ja nauhanlukijaa ei tarvita ohjauksessa. Työstökoneita voidaan ohjata tietokoneella turvallisessa ympäristössä etänä. Ajankäyttö tehostuu, kun useita koneita pystytään ohjaamaan samanaikaisesti. Joissain järjestelmissä voidaan ohjausyksikkö poistaa kokonaan DNC:n ansiosta. Jotkut toiminnot, kuten pyöreä interpolointi voidaan mahdollisesti suorittaa paremmalla laskentakyvyllä. DNC mahdollistaa myös ohjelmien jälkikäsitteilyn muille sopiville koneille. [13.]

2.4.3 G-koodi

1960-luvulla Electronics Industry Association (EIA) kehitti RS-274D-nimisen ohjelmointikielen. Maailmanlaajuisesti kieltä kutsutaan g-koodiksi, koska suuri osa ohjelmointikielen lohkoista alkaa g-kirjaimella. G-koodi on ohjelmointikieli, jota käytetään CNC-koneiden ohjelmointiin. Koodi kertoo työstökoneelle, minne sen tulee liikkua ja miten liikkeen tulee tapahtua sekä antaa työstökoneelle muita konekomentoja. G-koodi rakentuu yksinkertaisista komennoista. G-koodi on universaali ohjelmointikieli, mutta monet yritykset ovat tehneet pieniä muutoksia asiakkaidensa sekä omien tarpeidensa mukaan. Taulukossa 1 ovat yleisimmät g-koodit. [14.]

Taulukko 1. Yleisimmät g-koodit [15, s.145–146].

Koodi	Selitys
Akselien liike	
G00	Nopea liikkuminen - Kone liikkuu nopeasti haluttuun pisteeseen
G01	Lineaarinen interpolointi - Jyrsii suoran linjan halutulla nopeudella
G02	Pyöreä interpolointi - Jyrsii myötäpäivään pyöreän linjan halutulla nopeudella
G03	Pyöreä interpolointi - Jyrsii vastapäivään pyöreän linjan halutulla nopeudella
G28	Paluu referenssipisteeseen
Kone asetukset	
G20	Ohjelmointiyksiköt tuumina
G21	Ohjelmointiyksiköt millimetreinä
G90	Absoluuttinen paikannus - Koordinaatit ovat suhteessa referenssipisteeseen
G91	Inkrementaalinen paikannus - Koordinaatit ovat suhteessa nykyiseen pisteeseen
Reikien tekeminen	
G81	Poraus sykli (drilling cycle)
G82	Poraus sykli viiveellä (drilling cycle with a dwell)
G83	"Peck" poraus sykli (peck drilling cycle)
G84	Kierteitys sykli (tapping cycle)
G85	Reiän suurennus sykli (boring cycle)

Valmis g-koodi koostuu ohjelmalohkoista. Lohko tarkoittaa yhtä riviä ohjelmassa, mikä koostuu sanoista. Sana muodostuu, kun kirjain yhdistetään numeroon. Kirjaimia itsessään kutsutaan osoitteiksi. Kirjaimia on g-koodissa monia g:n lisäksi. Taulukko 2 esittää g-koodissa esiintyvät eri osoitteet ja erikoismerkit sekä niiden selitykset. [15, s. 145–147.]

Taulukko 2. Osoitekoodien ja erikoismerkkien selityksiä [14].

Koodi	Selitys
A	Kiertoliike X-akselin ympäri
B	Kiertoliike Y-akselin ympäri
C	Kiertoliike Z-akselin ympäri
D	Leikkurin halkaisijan kompensoinnin offset (cutter diameter compensation, CDC)
F	Syötön nopeus (feed rate)
G	G-koodi eli valmisteleva koodi
H	Työkalu offset (tool length offset, TLO)
I	Kaaren keskipiste x-vektorilla, käytetään myös porauskierroissa
J	Kaaren keskipiste y-vektorilla, käytetään myös porauskierroissa
K	Kaaren keskipiste z-vektorilla, käytetään myös porauskierroissa
M	M-koodi eli sekalaiset konetoiminnot
N	Lohkon eli ohjelman numero
O	Ohjelman numero
P	Viiveen (dwell) aika
Q	Käytetään porauskierroissa
R	Kaaren säde, käytetään myös porauskierroissa
S	Karan nopeus (rounds per minute, RPM)
T	Työkalun numero
X	X-koordinaatti
Y	Y-koordinaatti
Z	Z-koordinaatti
%	Ohjelman aloitus ja lopetus
()	Kommentti
/	Merkit tämän merkin jälkeen jätetään huomioimatta
;	Lohkon eli ohjelman lopetus

Varhaiset NC-ohjausyksiköt eivät sallineet useaa g-koodia samalla rivillä ohjelmakoodissa. Nykyään CNC-ohjausyksiköt sallivat useamman g-koodin samalla rivillä, mutta ne eivät saa olla samasta ryhmästä. G-koodit on luokiteltu 12 ryhmään niiden toimintojen mukaan. Jos rivillä on useampi koodi samasta ryhmästä, vain viimeisin jää voimaan ja muut jätetään huomioimatta. G-koodit voidaan myös jakaa kahteen kategoriaan: modaaliin ja ei-modaaliin. Modaalisuus tarkoittaa, että käytetty koodi jää voimaan, kunnes toinen g-koodi samasta ryhmästä aktivoidaan. Ei-modaalinen koodi toimii vain ennalta määrätyn ajan ja lopettaa toiminnon. Vähemmistö koodeista on ei-modaalisia. [16, s. 63.] M-koodit on usein käytetty komentojoukko g-koodin sisällä. Taulukossa 3 esiintyy yleisimmät m-koodit.

Taulukko 3. Yleisimmät m-koodit [15, s. 146].

Koodi	Selitys
Konetoiminnot	
M00	Ohjelman pysäytys - Ohjelma pysähtyy, kunnes operaattori jatkaa ohjelman sykliä
M01	Mahdollinen ohjelman pysäytys - Pysäyttää ohjelman, jos vaadittu stop nappi on aktivoitu
M03	Kara pyörii myötäpäivään
M04	Kara pyörii vastapäivään
M05	Kara pois päältä
M06	Työkalun vaihto
M08	Jäähdytysneste päälle
M09	Jäähdytysneste pois päältä
M30	Ohjelman reset - Siirtyy takaisin ohjelman alkuun

M-koodit ovat toinen valmiiksi määritelty komentojoukko. M-koodit ovat osa g-koodia ja ne ohjaavat erilaisia konetoimintoja. Eri valmistajien koneissa m-koodit saattavat toteuttaa erilaisia tehtäviä. [15, s. 145–148.]

3 ARGO A-1 +APC -työstökone

3.1 ARGO:n historia

ARGO on LIH CHANG MACHINERY CO., LTD. yrityksen mallisto. Yritys perustettiin vuonna 1984 Taiwanissa, missä yritys toimii edelleen. Samana vuonna yritys kehitti ensimmäisen pystysuoraisen jyrsintäkoneen. Vuonna 1988 yritys muutti uuteen tehtaaseen ja kehitti ensimmäisen CNC-työstökoneensa, josta lähtien kaikki yrityksen kehittämät koneet ovat olleet CNC-koneita. Tähän mennessä yritys on myynyt erilaisia työstökoneita yli 25 000 kappaletta. Vuonna 1999 yritys sai CE-sertifikaatin ja vuonna 2005 EMC-sertifikaatin. Laadunvarmistus standardi ISO 9001 on myönnetty yritykselle kolmesti, joista viimeisin vuonna 2015. [17, 18.]

3.2 ARGO A-1 +APC -vertikaali työstökone

Työn kohteena ollut ARGO A-1 -työstökone on 3-akselinen vertikaali työstökone, joka on varustettu automaattisella työkalunvaihtajalla (ATC), automaattisella paletin vaihtajalla (APC) sekä FANUC 0M-C -ohjausyksiköllä. Ohjausyksiköstä puhutaan tarkemmin luvussa 3.4. Työstökoneen merkkikilpi kertoo koneen valmistuneen lokakuussa 1997. Työstökone on luotu kaikenlaiseen koneistukseen, kuten poraukseen, kierteitykseen, kalvaukseen, pintojen jyrsintään ja käyräviivaiseen koneistukseen materiaalin pinnankovuuden ollessa toivotusti alle 30 HRC (Hardness Rockwell C). Kone ei ole soveltuva räjähdysalttiisiin tiloihin. Koneen mitat ovat 2480 mm x 2765 mm x 2790 mm ja bruttopaino 3500 kg. Koneen tarkemmat mitat löytyvät liitteestä 1.



Kuva 2. ARGO A-1 -työstökone ja ohjauspaneeli.

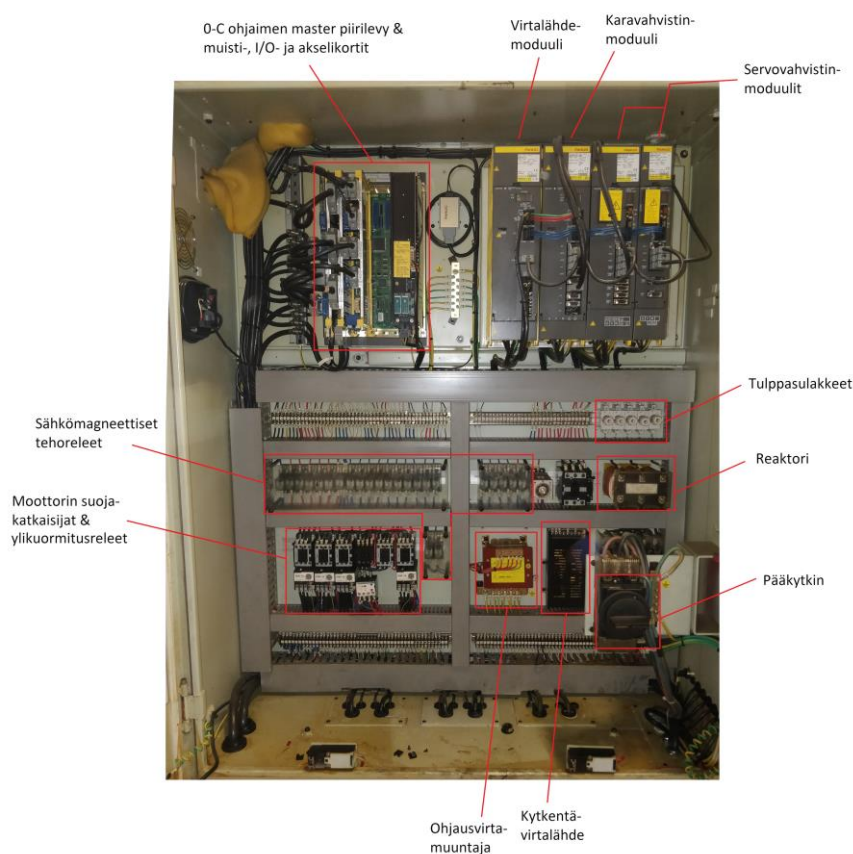
Työstökoneen tehontarve on 12,5 kilovolttiampeeria. Muuntajateho on 15 kilowattia ja liitäntäteho 20 kilowattia. Liitäntäsulakkeen suuruus on 60 ampeeria. Kaikki tässä luvussa mainitut tehot ovat kolmivaihetehoja ilman erikoismainintaa. Koneesta löytyy myös lastuamisnestejärjestelmä, jonka toiminta ohjataan joko työstöohjelmassa tai ohjauspaneelin lastuamisneste ohituksella. Lastuamisnestelinja päättyy työstötilaan, jossa sitä voi kohdistaa haluttuun paikkaan. Ilmanpainejärjestelmä oville ja työkalunvaihtajalle vaatii 0.6–0.8 MPa paineen ilmantarpeen ollessa maksimissaan 200 litraa minuutissa. [19.]

3.2.1 Työstötila

Työstökoneen työstötilassa tapahtuu materiaalien työstö. Työstöpöydälle kiinnitetään kappale, jota työstetään ja akselien liikkeillä saavutetaan haluttu lopputulos. Pöydän koko on 600 mm x 350 mm. Pöydän maksimikuormitus on 300 kg. Työstökohteen kiin-

nitys pöytään tapahtuu kolmen T-uran avulla, jotka ovat 12,5 senttimetrin päässä toisistaan. Pöytää liikutetaan X- ja Y-akselien liikkeillä. Työtilasta löytyy työvalo, jota voidaan ohjata ohjauspaneelista. [19.]

X- ja Y-akseli liikuttavat pöytää haluttuun kohtaan servomoottorien toimesta. Servomoottorien toiminta perustuu säätimen, vahvistimen ja moottorin enkooderin väliseen kommunikointiin. Ohjausyksikkö antaa säätimelle tarvittavat ohjeet, jotka säädin lähettää edelleen ohjaussignaaleina servomoottorin vahvistimelle. Vahvistimet sijaitsevat koneen sähkökaapissa. Vahvistin vahvistaa signaalit ja ohjaa servomoottoria, joka liikuttaa akselin mekaanista osaa. Servomoottorin yhteydessä oleva enkooderi lähettää nopeus- ja sijaintitietoja takaisin vahvistimelle, joka vaihtaa tietoja säätimen kanssa ja säätää liikettä halutuksi. Vahvistinmoduuleita on kaksi, joista toinen hoitaa kaksi akselia ja toinen yhden.



Kuva 3. Työstökoneen sähkökaappi.

X-akselin maksimiliikepituus on 510 mm ja Y-akselin maksimiliikepituus 352 mm. Työstöalueen tulisi olla maksimissaan 500 mm X-akselilla ja 350 mm Y-akselilla, jotta vältetään mahdolliset hälytykset ja törmäysvaarat. X- ja Y-akselin servomoottorit ovat tehoaan yhden kilowatin suuruisia ja ne mahdollistavat pikaliikkeen nopeuden 24 m/min, kun pöydän kuormitus on alle 100 kg. Z-akseli liikuttaa karaa vertikaalisti ja sen maksimi liikepituus on 460 mm. Z- akselilla voidaan työstää koko liikealueella. Z-akselin servomoottorin teho on kaksi kilowattia ja pikaliikkeen nopeus 16 m/min. [19.]

Karalla on oma moottori, joka on teholtaan 5,5 kilowattia jatkuvassa käytössä, mutta voi hetkellisesti toimia 7,5 kilowatin teholla. Karalla on oma vahvistin moduuli, jolla ohjataan karan nopeutta. Tässä koneessa karan pyörimisnopeus on 60–6000 kierrosta minuutissa. Karan halkaisija on 55 mm ja karanpäähän sopivat ISO 40 -poraistukat. Liitteessä 2 esitetty karan kierrosluku- ja vääntömomenttikaavio. [19.]

Työkalunvaihtaja on pyöreä makasiini, joka sisältää 12 paikkaa työkaluille. Työkalunvaihtaja toimii paineilmalla, ja liian vähäinen ilmanpaine estää työkalunvaihdon aiheuttaen hälytyksen. Työkalunvaihto tapahtuu komennolla "M6 TX", jossa X on halutun työkalun paikkanumero makasiinissa. Makasiini pyörii halutun työkalun kohdalle ja suorittaa työkalun vaihdon palauttaen aikaisemman työkalun sen omalle paikalleen. Makasiinia pyörittää 1/3 hevosvoimainen moottori, jonka tehontarve on 0,33 kilowattia. Työkalukartion tulee olla mallia BT–40. Liitteessä 3 on kuvattu BT–40-työkalukartio ja maksimimitat työkaluille työkalumakasiinin ollessa täysi. [19.]

3.2.2 Automaattinen paletinvaihtaja

Automaattinen paletinvaihtaja sijaitsee koneen vasemmalla puolella ja paletin vaihto tapahtuu työstökoneen vasemmassa seinässä sijaitsevan oven läpi. Ovi toimii paineilmalla. Paletinvaihtaja toimii hydraulikalla ja sähköllä. Hydraulipumpun tehontarve on 1,5 kilowattia, ja se vastaa hydraulikkaneesteeseen virtauksesta paletinvaihtajalle. Paine linjassa on 35 kg/cm ja puristusvoima paletinvaihtajassa on 1900 kg. Paletinvaihtajan pöydän koko on sama kuin työtilan pöydän koko. Pöytä painaa 110 kg, ja se kestää 250 kg painon. Tässä työssä ei paletinvaihtajaa käytetty, koska yrityksellä ei ollut tarvetta sille. [19.]

3.3 Kunnostus

Konetta kunnostettaessa työstökoneen kriittisimmät osat, kuten paineilmalinjat ja johteet kunnostettiin. Ensimmäiseksi koneesta imuroitiin suurimmat metallisilput pois. Metalliharjalla irrotettiin pintoihin ja osiin, kuten paineilmasyylintereihin, työkalunvaihtajaan ja työstöpöytään kiinnittyneet metallisilput. Myös paineilmaa käytettiin useasti lian irrottamiseen koneen eri osista. Kun suurimmat silput oli saatu irrotettua koneen eri osista, käytettiin rasvan ja lianpoistoainetta sekä kuituliinoja pintojen puhdistamiseen. Työstöpöytä ja akselien suojat puhdistettiin moneen kertaan, jolla saavutettiin tyydyttävä lopputulos, joka paransi käyttökokemusta ja turvallisuutta myöhemmässä vaiheessa. Työkalunvaihtajassa työkalujen kiinnityskourat ja niissä olevat ohjausrullat sekä jouset puhdistettiin ja rasvattiin. Osa rullista oli jumittunut paikalleen ennen kunnostusta, mutta ne saatiin toimimaan normaalisti.

3.3.1 Paineilma

Työstökoneen kunnostuksessa isossa osassa oli paineilmalinjojen kunnostaminen. Vanhat paineilemälketkut olivat huonossa kunnossa ja osa paineen alla haljenneita. Syitä tähän olivat vanhat letkut ja mahdollisesti aiempien käyttäjien käyttämä liian suuri paine paineilmalinjoissa. Paineilmaa on suunniteltu käytettäväksi 0.6–0.8 MPa, ja sitä suurempi paine saattaa aiheuttaa halkeamia vanhoihin letkuihin. Halkeama saattaa aiheuttaa liian matalan operointipaineen esimerkiksi automaattisessa työkalunvaihtajassa, jolloin työkalunvaihtaja voi jäädä jumiin kesken työkalun vaihdon. Työstökonetta ei voida operoida, jos kone hälyttää liian matalaa painetta.

Ensimmäiseksi kartoitettiin paineilmalinjat. Tässä vaiheessa irrotettiin myös kaikki linjojen suojat paremman kuvan saamiseksi. Irrotettavia suojia oli viisi kappaletta, ja neljä suojista sijaitsi koneen päällä ja yksi koneen työstötilassa suojaamassa hydraulikkakelkan puolella sijaitsevan sivuoven paineilmasyylinteriä. Kaikki suojat olivat kuusiokoloruuveilla kiinni. Osa kuusiokoloruuveista oli vaikea irrottaa, koska ne olivat täyttyneet lialla ja sijaitsivat vaikeissa paikoissa. Koneen päällä olevista suojista kaksi suojasi työkalunvaihtajan karusellia ja yksi suoja oli koneen keskellä suojaten Z-akselin johteet, kuularuuvien sekä karamoottorin. Viimeinen irrotettava suoja oli kourun kansi, jonka sisällä si-

jaitsi sähkölinjat sähkökaapista ohjausyksikölle ja työstökoneelle sekä neljä paineilmaletkua, jotka toimittivat paineen etu- ja sivuoven paineilmasylintereille. Työkalunvaihtajalle lähti eri reittiä yksi paineilmaletku, joka myöhemmin jaettiin venttiilillä kahdeksi linjaksi, jotka kiinnitettiin työkalunvaihtajaan. Kun linjat oli kartoitettu, merkattiin ne kummastakin päästä, jotta välttyttäisiin sekaannukselta.

Linjat uusittiin yksitellen. Kaikki vaihdetut paineilmaletkut olivat 10 mm halkaisijaltaan olevia sinisiä polyuretaaniletkuja. Linjat olivat kummastakin päästä kiinnitetty pistoliittimillä, jotka kaikki uusittiin samalla, kun linjat vedettiin. Sivuoven paineilmasylinteri oli irrotettava, jotta liittimet saatiin vaihdettua. Haasteeksi tässä vaiheessa osoittautui uuden polyuretaaniletkun jäykkyys, linjojen ahtaat reitit ja paineilmasylinterin paineliittimien ahdas sijoitus, jota varten täytyi pistoliittimet vaihtaa pienempiin. Työkalunvaihtajalle laitettiin joustavampaa letkua sen vaikean sijoituksen takia, jotta välttyttäisiin letkun taitoksilta ja halkeamilta pidemmällä aikavälillä. Kun linjat oli uusittu, laitettiin ne siististi nippusiteillä kiinni ja suojat kiinnitettiin takaisin paikalleen.

Paineilmasylintereitä ohjaavat magneettiventtiilit irrotettiin, purettiin ja puhdistettiin osana samaa paineilmalinjojen kunnostusta. Paineilman tuottava kompressori tuotti 1 MPa, joten paineilmajärjestelmään kytkettiin paineenalennusventtiili ja sen läpivirtaukseksi asetettiin 0,7 MPa eli seitsemän baaria.

3.3.2 Akselien huolto

Akseleiden huollossa huomioon otettiin akseleiden johteet, kuularuuvit sekä kuularuuvien kourujen yleinen puhtaus. Ensin irrotettiin kaikki kourujen suojat, jotta johteisiin ja ruuviin päästiin käsiksi. Ensimmäisenä aloitettiin Y-akselista. Ruuvikourusta imuroitiin suurimmat liat ja roskat pois. Johteet käytiin läpi tarkasti ja todettiin niiden olevan hyvässä kunnossa. Myös Y-akselin ruuvi oli hyvässä kunnossa. Johteet ja ruuvi puhdistettiin huolella kuituliinoilla sekä rasvan- ja lianpoistoaineella. Työstöpöytää siirrettiin käsiohjauksella edestakaisin useamman kerran ja johteet puhdistettiin uudestaan moneen kertaan. Kun johteet, kuularuuvi sekä kouru oli puhdistettu hyvin, laitettiin ruuviin ja johteisiin uudet johdeöljyt pensselillä. Myös tässä vaiheessa työstöpöytää liikuteltiin edestakaisin parhaan tuloksen saavuttamiseksi.

Kun operaatio oli tehty, kiinnitettiin suoja takaisin ja siirryttiin X-akseliin tekemään samat toimenpiteet. Myös X-akselin johteet ja ruuvi olivat hyvässä kunnossa. Z-akseli oli akseleista huonoimmassa kunnossa pinttyneen lian takia. Johteet olivat kunnossa, mutta ne olivat täynnä pinttynyttä likaa ja rasvaa. Z-akseli oli myös haasteellisin kunnostaa sen vaikean sijainnin ja suojiin lukumäärän takia. Johteille ja kuularuuville toteutettiin samat toimenpiteet kuin X- ja Y-akselin johteille ja kuularuuville.

3.3.3 Voitelujärjestelmä ja nesteet

Voitelujärjestelmän öljysäiliö täytettiin uudella öljyllä ja sen toiminto todennettiin öljyn liikkua voitelulinjoissa. Hydraulikkaneesteisiin ei tehty muutoksia, koska paletinvaihtajaa ei käytetty tämän työn aikana. Jäähdytysnestettä ei käytetty testiohjelman ajossa, joten jäähdytysnestettä ei ajettu linjaa pitkin, mutta linja puhdistettiin koneen työstötilassa.

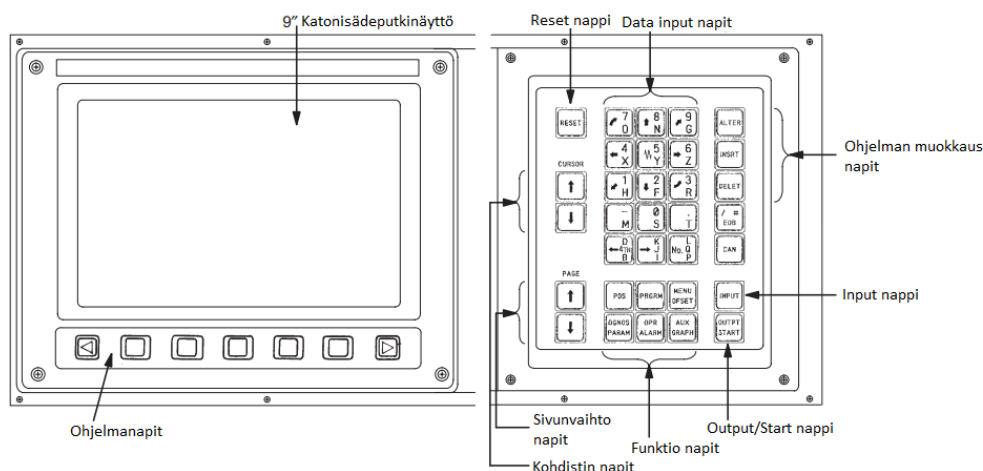
3.4 Fanuc 0M-C -ohjausyksikkö

Fanuc 0M-C -ohjausyksikköä valmistettiin vuodesta 1990 vuoteen 1998. Kirjain "M" tulee sanasta "milling" ja kirjain "C" tarkoittaa 0M sarjan kolmatta versiota. Versiot ovat A, B, C ja D. Kaikki työstökoneen liikkeet, toiminnot ja kommunikointi sarjakaapelin avulla tapahtuvat ohjausyksikön ohjaamana. Kommunikoinnista puhutaan tarkemmin luvussa 4.1. Ohjausyksikkö ymmärtää sille syötettyä koodia ja ohjaa koneen eri osille tarvittavat ohjeet. Ohjausyksikkö pystyy ymmärtämään ja käsittelemään monen akselin samanaikaisia interpolointia, jonka seurauksena voidaan työstää lineaarisia ja ympyränmuotoisia monimutkaisia työstöratoja. Se tukee ja ohjaa akselien servomoottoreita sekä vahvistinpiirejä ja sisältää jokaisen akselin sijainti- ja nopeussignaalin. Ohjausyksikkö suorittaa kaikki konetoiminnot, kuten työkalunvaihdot ja jäähdytysnesteen päälle/pois kytkemiset. Työstöohjelmiin syötetään haluttuja liike- ja konetoimintoja, joita ohjausyksikkö lukee yhden rivin eli lohkon kerrallaan, lähettää ohjaussignaaleja useille moottoreille ja releille, ja siirtyy seuraavaan riviin. Yhden rivin suoritettuaan ohjausyksikkö saa palautesignaaleja koneen tilasta, jotka auttavat ohjausyksikköä seuraavan komennon toteutuksessa ja mahdollisissa vikatilassa hälytyksissä. Ohjausyksikkö sisältää mikroprosessorin ja liitännät antureihin, moottoreihin sekä muihin rajapintoihin.

Ohjausyksikkö sisältää myös muistin, joka sisältää työstöohjelmat, parametrit ja diagnostiikan. Muistilla on oma patteristo, joka on käytössä koneen ollessa sammutettuna. Patteristo tulee vaihtaa kerran vuodessa koneen ollessa päällä, jotta vältetään muistin tyhjeneminen. Vanhoissa ohjausyksiköissä muistia on yleensä vähän, joka estää nykyaikaisten monimutkaisten 3D-ohjelmien, jotka voivat olla jopa satoja tuhansia rivejä pitkiä, tallentamisen ohjausyksikön omaan muistiin. 3D-ohjelmia pystytään ajamaan drip-feeding tyylillä, josta puhutaan tarkemmin luvussa 4. Tässä OM-C-ohjausyksikössä muistia on 32 kilotavua eli 256 kilobittiä.

3.4.1 Ohjauspaneeli

Ohjausyksikössä olevalla MDI-ohjauspaneelilla voidaan ohjata koneen eri toimintoja. Ohjauspaneelissa sijaitsevasta näytöstä nähdään myös tarvittavat tiedot koneesta, kuten akselien sijainnit ja muistissa olevat parametrit, ohjelmat, offsetit ja koneen diagnostiikan. Nämä tiedot ovat löydettävissä ja muokattavissa ohjauspaneelin avulla. Ohjauspaneelista myös aloitetaan ja pysäytetään työstöohjelmien ajo sekä kommunikoidaan sarjakaapelin välityksellä.

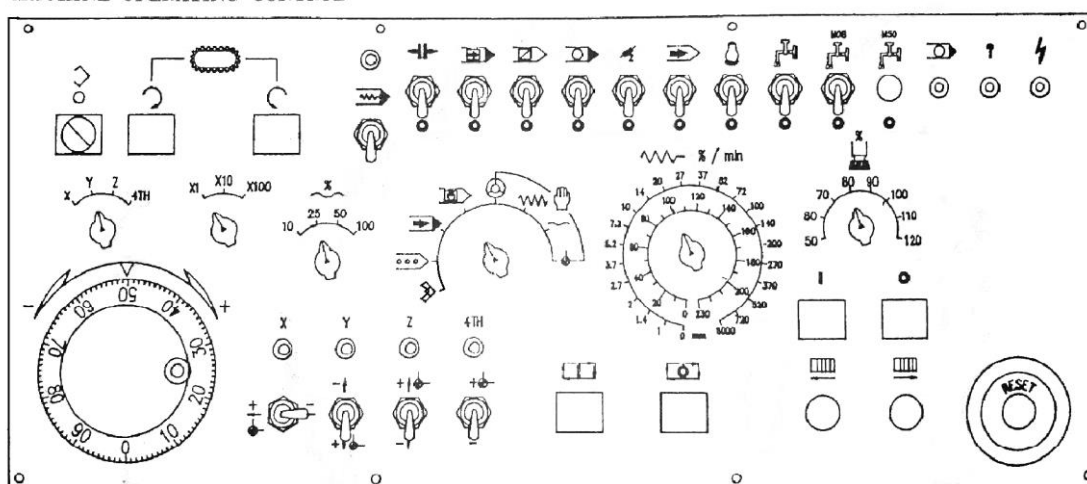


Kuva 4. Fanuc OM-C -standardi MDI-ohjauspaneeli [20, s. 1-2].

MDI-ohjauspaneelissa on yhdeksäntuumainen katonisädeputkinäyttö ja sen alapuolella ohjelmanappeja, joiden avulla voidaan navigoida eri sivuille. Koneen ollessa päällä ohjelmanappien funktiot näkyvät näytön alareunassa ja ne vaihtuvat esillä olevan näkymän

mukaan. Kuvan 4 oikeassa reunassa on standardikokoinen MDI-näppäimistö ja siitä on olemassa "täysiversio", jossa data input -näppäimiä on enemmän. Funktionappeja käytetään eri sivujen valintaan. Funktioita ovat akselien paikkatiedot, ohjelmat, offsetit, parametrit ja diagnostiikka, hälytykset ja grafiikkanäyttö. Jokainen funktio sisältää useita sivuja, joita voidaan selata ohjelmanapeilla sekä kohdistin- ja sivunvaihtonapeilla. Ohjelman muokkaus napeilla voidaan ohjelmia lisätä, muokata ja poistaa muistista. Data input nappeja käytetään kaiken datan etsimiseen ja muokkaamiseen, sekä manuaaliseen ohjelmointiin. Input-näppäintä käytetään manuaaliseen tiedon syöttämiseen ja vastaanottaessa sarjadataa. Output-nappi toimii sarjadatan lähetyksessä sekä ohjelmien aloitusnappina. Reset napilla voidaan resetoita hälytyksiä ja toimintoja. Input-napin yläpuolella olevat napit ovat "CAN" (cancel) ja "EOB" (end of block) napit. [20, s. 9–10.] Tämän ohjauspaneelin alapuolella sijaitsee koneen ohjausta varten toinen ohjauspaneeli. Ohjauspaneelin layout kuvassa 5. Varsinaisessa paneelissa osa napeista ja valitsimista ovat hieman eri paikoissa, mutta niillä on samat ominaisuudet.

MACHINE OPERATING CONTROL



Kuva 5. Työstökoneen ohjauspaneeli [19, s. 61].

Tällä paneelilla voidaan ohittaa joitain MDI-ohjauspaneelilla syötettyjä ohjelmakoodoja, kuten esimerkiksi ohjelmablokkien suoritustapaa, jäähdytysnesteen käyttöä, syötön ja karan nopeutta sekä suorittaa erilaisia toimintoja, kuten akselien referenssipisteisiin ajon ja akselien siirrot työkoordinaatistoja määrittäessä. Tämä ohjauspaneeli sisältää myös hätä-seis-napin ja avaimellisen muistin suojaus kytkimen. Eri nappien ja valitsimien funktiot esitetty liitteessä 4.

3.4.2 Fanuc-historia

Fanuc perustettiin vuonna 1956 Fujitsun tytäryhtiöksi tohtori Seiueemon Inaban toimesta Japanissa ja itsenäiseksi yritykseksi vuonna 1972. Fanuc keskittyi 50-luvun lopulla yksittäisten koneiden automatisointiin, mutta seuraavien vuosikymmenien aikana yritys laajeni automatisoiden kokonaisia tuotantolinjoja. Ensimmäinen kaupallinen Fanuc-NC-kone toimitettiin vuonna 1958. Tietokoneohjatun numeerisen ohjauksen yritys esitteli vuonna 1972 ja seuraavana vuonna 1973 ensimmäiset Fanuc-CNC-tuotteet asennettiin Eurooppaan. Vuonna 1978 yritys laajeni Eurooppaan ja Koreaan. Ensimmäinen robotti toimitettiin Eurooppaan 1983. Fanuc oli ensimmäinen yritys Japanissa, joka rakensi ja operoi automatisoitua tehdasta robottien ja NC-teknologian avulla. 2000-luvun alussa Fanuc alkoi tuottamaan älyrobotteja. Nykypäivänä Fanuc on johtava tehdasautomaation valmistaja maailmanlaajuisesti. CNC-ohjausyksiköitä Fanuc on valmistanut ja asentanut yli neljä miljoonaa kappaletta ympäri maailmaa. CNC-robotteja on valmistettu ja asennettu yli 600 000 kappaletta. [21.]

3.4.3 Ohjelmointi

Fanuc 0M-C -ohjausyksiköllä ohjelmointi voidaan toteuttaa kahdella tapaa. Käyttämällä MDI-ohjauspaneelia tai ulkoista sovellusta, jolloin ohjelma täytyy DNC:n välityksellä siirtää joko koneen muistiin tai ajaa suoraan tietokoneelta.

Perinteinen MDI-näppäimistön käyttö ohjelmoinnissa on nykypäivänä vähentynyt, koska se on aikaa vievää ja altis virheille. MDI-paneelissa ohjelmia voidaan luoda, muokata ja poistaa kuvan 4 ohjelman muokkausnapeilla. Uutta ohjelmaa luotaessa, muokattaessa tai poistaessa pitää kuvan 5 moodi valitsemasta valita "EDIT"-moodi ja sen jälkeen kuvan 4 funktionapeista valita "PRGRM" eli ohjelmasivu. Jos olemassa olevaa ohjelmaa ollaan muokkaamassa tai poistamassa, tässä vaiheessa syötetään ohjelman numero data input napeista antamalla ensin osoite kirjain "O" ja sen jälkeen ohjelman numero. Ohjelmana-peista "ALTER" ja "DELET" voidaan ohjelmaa muokata tai poistaa se. Jos uusi ohjelma halutaan luoda, annetaan osoite "O" ja ohjelmanumero, joka ei ole vielä käytössä. Lopuksi painetaan "INSRT" ohjelman luomiseksi. Kun ohjelma on luotu muistiin, voidaan sitä alkaa tekemään MDI-paneelilla rivi kerrallaan. Haluttu toiminto kirjoitetaan riville, jonka jälkeen painetaan "INPUT"-nappia, jolloin ohjelma siirtyy seuraavalle riville. Jos

manuaalisesti halutaan testata jokin toiminto, voidaan moodi valitsimesta valita ”EDIT”-moodin sijasta ”MDI”-moodi, jolloin tehty ohjelma ei tallennu pysyvästi ohjausyksikön muistiin. [22, s. 424–430, s. 520.]

Modernimpi tapa luoda ohjelmia nykypäivänä on tietokoneella ohjelmointi käsin tai käyttämällä CAD/CAM-ohjelmia. Tällä tavalla luotaessa ohjelma on se siirrettävä sarjakaapelin läpi työstökoneen muistiin tai ajettava suoraan tietokoneelta sarjakaapelin läpi. Tässä työssä testiohjelman tekoon käytettiin tietokonetta ja työstöratojen tekoon tarkoitettua ohjelmistoa sekä sarjakaapelia datan siirtoon. CAD/CAM-ohjelmiston käytöstä ja tietokoneella ohjelmoidusta testiohjelmasta puhutaan luvussa 4.

3.5 Käyttöönotto

Kun työstökone oli kunnostettu ja siivottu, käynnistettiin kone ja tehtiin visuaalinen tarkistus ja kuunneltiin, että kaikki toimii normaalisti. Sivuovea ohjaavan paineilmasylinterin magneettiventtiili vuoti hieman, joten kyseinen linja kytkettiin irti väliaikaisesti, koska sivuovea ei heti tarvittu. Ennen irti kytkemistä todettiin kuitenkin oven toimivan, vaikka venttiili vuoti hieman. Kun kaikki oli tarkistettu, siirryttiin ohjausyksikön luokse ja alettiin kokeilemaan akselien liikkuvuutta, jossa ilmeni ongelmia.

Ohjausyksikkö ei antanut X-akselin liikkua koko liikeradallaan, vaan antoi ylimatkustushälytyksiä jatkuvasti. Ensimmäisenä tarkasteluun otettiin mekaaninen rajakytkin, joka toimii koneessa niin sanottuna kovana rajana. Rajakytkimen kytkin osa vaikutti toimivan normaalisti, joten kytkimen johto mitattiin yleismittarilla. Johto oli mittauksen perusteella kunnossa, joten seuraavaksi siirryttiin ohjelmalliseen puoleen selvittämään vikaa. Epäilyksenä oli, että ohjausyksikköön oli parametreilla määritetty niin sanottu pehmeä raja, joka estää täyden liikkuvuuden hälyttämällä ylimatkustuksen, kun tietty koordinaatti ylitetään akselilla. Konea käynnistäessä painettiin MDI-paneelissa nappeja ”P” ja ”CAN” samanaikaisesti, jonka tarkoituksena on määrätä ohjausyksikkö ohittamaan parametreilla määritetyt pehmeät rajat, kunnes akselit palautuvat referenssipisteisiinsä. Tämä tehtyä ylimatkustus hälytykset loppuivat ja kone saatiin ajettua kotipisteeseen normaalisti.

Kun akselit liikkuvat normaalisti, alettiin kokeilemaan joitakin ohjausyksikön muistiin tallennettuja lyhyitä ohjelmia, jotta voitaisiin todeta laitteen kokonaisvaltainen toimivuus. Yhden tallennetun ohjelman funktio oli pyörittää automaattisen työkalunvaihtajan jokainen työkalu karassa. Ohjelma toimi moitteetta, joten työkalunvaihtajan todettiin toimivan. Seuraavaksi kokeiltiin karamoottorin toiminta syöttämällä MDI-moodissa ohjausyksikölle yksinkertainen komentorivi "M3 S500", joka käynnistää karan pyörimään myötöpäivään 500 kierrosta minuutissa. Kara lähti normaalisti pyörimään, jonka jälkeen karan nopeutta muutettiin eri arvoihin ja todettiin karan toimivan normaalisti. Lopuksi kokeiltiin valmiiksi koneessa ollutta työstöohjelmaa kuiva-ajona. Kone suoritti ohjelman ilman hälytyksiä, jolloin todettiin laitteen toimivan normaalisti.

Isossa osassa käyttöönottoa oli ohjausyksikön muistiin tallennettujen parametrien, ohjelmien, diagnostiikan sekä offsettien tallentaminen ulkoiselle muistilaitteelle eli tässä työssä tietokoneelle ja muistitikulle, josta ne voi tarpeen tullessa siirtää takaisin ohjausyksikölle. Datan siirto toteutettiin tietokoneella, jossa oli DNC-ohjelmisto sekä RS-232 sarjakaapelilla. Datan siirrosta puhutaan luvussa 4.1.3. Käyttöönottoon kuului myös testiohjelman teko ja suorittaminen. Testiohjelmasta puhutaan tarkemmin luvussa 4.2.

4 CAD/CAM-ohjelmistot

CAD on tietokoneella tehtävää teknisten dokumenttien luontia, dokumentointia ja muuttamista. Tavoitteena on piirustusten ja dokumenttien laadun, suunnittelijan tehokkuuden ja dokumentoinnin parantaminen, kun samalla luodaan valmistustietokanta. Eri vaiheita CAD-prosessissa ovat geometrinen mallinnus, tekninen analyysi, suunnittelun arviointi ja dokumentointi. CAD sisältää useita erilaisia geometrisen mallin tyyppejä ja niitä käytetään riippuen suunniteltavan kohteen laadusta esimerkiksi kaksi- ja kolmiulotteiset mallit. Geometrista mallia luodessa kuvataan ohjelmistolle kohteen geometriaa matemaattisesti ja graafisesti. Malli tallennetaan muistiin, CAD-ohjelma käsittelee matemaattisen kuvauksen ja näyttää kappaleen geometrisen mallin näytöllä. Tekninen analyysi CAD-ohjelmistossa on luotu lisäämään suunnittelijan kykyä analysoida ja optimoida mallia. Analyysin avulla malliin saadaan lisättyä siihen liittyviä ominaisuuksia, kuten esimerkiksi rasitusjännityslaskelmat. Suunnittelun arviointiin löytyy CAD-ohjelmistosta valmiita työkaluja, jotka helpottavat arviointia, kuten esimerkiksi automaattiset mittausrutiinit. Dokumentoinnissa tehty suunnittelutyö tallennetaan tietokantaan, jonka kautta töitä voidaan myöhemmin tarkastella ja muokata tilanteen vaatiessa. [13.]

CAM-ohjelmistolla tehostetaan valmistuksen ohjausta ja suunnittelua. Valmistuksen suunnittelua tehostetaan erilaisilla tietokoneen suunnittelutoimilla, kuten tietokoneavusteisella NC-osan ohjelmoinnilla, kustannusten arvioinnilla sekä tuotanto- ja varastosuunnittelulla. Valmistuksen ohjaus vastaa fyysisten toimien hallinnasta, jotka kattavat lattia-tason ohjauksen, varastojen hallinnan, sekä laadunhallinnan. [13.] Tässä työssä CAM-ohjelmistosta puhuttaessa tarkoitetaan ohjelmistoa, jolla luodaan tietokoneavusteisesti NC-osien työstöohjelmia.

Teollinen valmistus voidaan karkeasti jakaa massatuotantoon, erätuotantoon sekä työpajatuotantoon. Erona näissä muodoissa on valmistettavan tuotteen määrä. Massatuotannon määrät ovat isoimmat ja voivat vaihdella tuhansista miljooniin vuosittain. Erikoiskoneet ja tuotantolinjat pysyvät massatuotannossa samoina ja eivät ole joustavia muutoksiin. Erätuotannossa tiettyä tuotetta tehdään tietty määrä ja useita eri eriä voidaan valmistaa useita vuoden aikana. Samoja koneita ja työkaluja voidaan mahdollisesti säätää tuottamaan erilaisia eriä. Työpajatuotanto tuottaa kaikkein pienimpiä määriä tuotteita, kuten erilaisia prototyypppejä ja tuotteiden pienien määrien takia käytössä on usein vain

yleiskäyttöön soveltuvia koneita, joka lisää prosessin mahdollisten virheiden määrää. CAM-ohjelmistoa voidaan hyödyntää jokaisen tuotantomuodon tehostuksessa, mutta se toimii tehokkaimmin pienempien tuotantomäärien valmistuksessa, koska käsiteltävä tietomäärä kasvaa, kun vaihdetaan usein tuotteesta toiseen ja tuotteiden elinikä on lyhyempi. CAM-ohjelmisto oikein käytettynä tuo monia etuja, kuten lyhyemmän läpimenoajan, vähentyneen hukkatuotannon, parantuneen joustavuuden ja luotettavuuden, sekä tehokkaamman tuotannon. [23, s. 7–9.]

Nykypäivänä entistä useammat valmistajat ovat siirtyneet ohjelmoidessaan työstöratoja käyttämään CAD/CAM-ohjelmistoja ja niiden suosio on edelleen nousussa. CAD/CAM-ohjelmistot yhdistävät sekä CAD- että CAM-ominaisuudet yhteen ohjelmistoon. Ohjelmistoja kehitetään jatkuvasti toimimaan luotettavammin ja helpommin laskien niiden käyttämiseen vaadittavaa osaamista. Ohjelmistot myös halpenevat jatkuvasti niiden yleistyessä ja näin ovat helpommin saatavilla. Ohjelmiston ideana on luoda tietokoneavusteisesti CAD-piirroksia tai muokata niitä. CAD-tiedostot tehdään sopiviksi CAM-ohjelmistolle, jotta se voi suorittaa kaikki työstöratoihin ja työstökohteeseen liittyvät laskelmat ja tuottaa automaattisesti valmiit CNC-työkalupolut ja komennot. Tämä CNC-ohjelma voidaan jälkeinpäin kääntää useiden konevalmistajien työstökoneiden ohjausyksiköiden ymmärtämään muotoon, joka tekee tuotannosta joustavampaa ja tehokkaampaa. [13.]

4.1 Kommunikointi tietokoneen ja ohjausyksikön välillä

CAD/CAM-ohjelmistolla tehdyt ohjelmat on siirrettävä työstökoneen ohjausyksikön muistiin, jotta ne voidaan suorittaa. Monimutkaiset 3D-ohjelmat eivät mahdu vanhan ohjausyksikön muistiin, joten ne täytyy suorittaa suoraan tietokoneelta. Kommunikointi vanhempien työstökoneiden kanssa vaatii oikeanlaista RS-232-sarjakaapelia tiedonsiirtoon. RS-232-liitynnästä puhutaan tarkemmin kohdassa 4.1.1. Tietoa voidaan siirtää kaapelilla joko suoraan tietokoneelta tai DNC USB -lukijalta. Kummassakin tapauksessa tarvitsee määrittää parametreja ja kommunikointiin liittyviä muita asetuksia, jotta tietokone ja ohjausyksikkö ymmärtävät toisiaan. [23, s. 80.] Kummallakin tavalla voidaan toteuttaa samat asiat. Parametreista ja muista asetuksista puhutaan tarkemmin kohdassa 4.1.2.

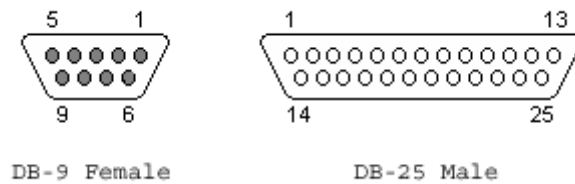
Tietokonetta käytettäessä tarvitaan tietokoneen ja sarjakaapelin lisäksi myös DNC-ohjelmisto, jotta tietoja voidaan siirtää. Vastaanottaessa dataa tiedot tulevat DNC-ohjelmistoon, josta ne saa tallennettua. Lähettäessä tietoa DNC-ohjelmisto suorittaa kommunikoinnin ja tietojen lähetyksen työstökoneelle. Tietokoneelta voidaan tiedostot lähettää joko ohjausyksikön muistiin tai työstöohjelman tapauksessa ajaa suoraan tietokoneelta, jos työstökone tukee kyseistä tapaa. Tietokoneella dataa on myös nopea ja helppo muokata sekä varastoida tarvittaessa. Suoraan tietokoneelta ajettaessa, ohjelma lähetetään osa kerrallaan ohjausyksikölle, joka suorittaa nämä osat ja poistaa ne siirtyen seuraavaan osaan. Tätä kutsutaan nimellä drip-feeding. Tästä puhutaan tarkemmin kohdassa 4.1.4.

USB-lukija korvaa tietokoneen ja DNC-ohjelmiston, mikä säästää kustannuksia ja tilaa tuotantoalueella. Lukija kytketään työstökoneen RS-232-liittimeen sarjakaapelilla, ja se toimii samalla ulkoisena muistina ohjausyksikölle sekä DNC-ohjelmistona, jolla kommunikoidaan työstökoneen kanssa. Lukijaan voidaan tallentaa ohjelmia ja työstökoneen diagnostiikkaa, offsetteja sekä parametreja. Uusia ohjelmia tuodaan lukijaan USB-portin kautta. Jotkut DNC-lukijat toimivat myös langattomasti, mikä parantaa joustavuutta. Drip-feeding on myös mahdollista suurella osalla kyseisistä laitteista. Lukija asetetaan vastaanotto- tai lähetystilaan kommunikoitaessa työstökoneen kanssa.

4.1.1 RS-232

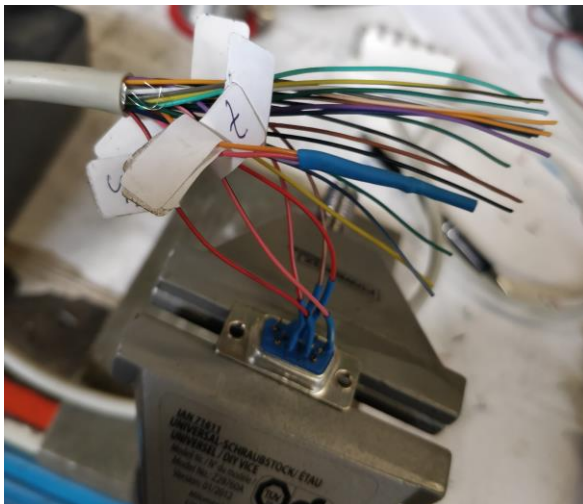
RS-232 on sarjaviestintästandardi, jota voidaan käyttää tietokoneen ja muun laitteen sarjajadatan vaihdossa. RS-232 toimi tietokonekäytössä USB:n edeltäjänä ja sitä käytetään edelleen servo-ohjaimissa sekä PLC- ja CNC-koneissa sen halpuuden takia. Tietokonetta kytkettäessä työstökoneen ohjausyksikköön tarvitaan tiedonsiirtoon DB9/DB25-sarjakaapeli, joka kytketään RS-232-porttiin ohjausyksikössä. Kaapelin tietokoneen päässä on 9-pinninen naarasliitin ja ohjausyksikön päässä 25-pinninen urosliitin. Tietokoneen päässä liitin on vain 9-pinninen, koska kommunikoinnissa ei tarvita kaikkia DB25-pinnejä. Kaapelin avulla saadaan tiedot liikkumaan molempiin suuntiin. [24.] Työstökoneelta pystytään lähettämään parametrit, diagnostiikan, ohjelmat ja offsetit tietokoneelle talteen ja mahdollisesti muokattavaksi. Parametrien tallentaminen ulkoisesti on tärkeä asia vanhan työstökoneen tapauksessa, koska niiden hävitessä parametreja ei ole helppo löytää, ja manuaalisesti niiden syöttäminen on työlästä. Tietokoneelta voidaan

lähettää työstökoneelle muokattuja tai kokonaan uusia ohjelmia, offsetteja, parametreja ja diagnostiikkaa. Tietokoneeseen täytyy olla asennettuna DNC-ohjelmisto, joka vastaanottaa ja lähettää tietoa sarjakaapelin läpi. Kuvassa 6 DB9- ja DB25-liittimien pinni-layout.



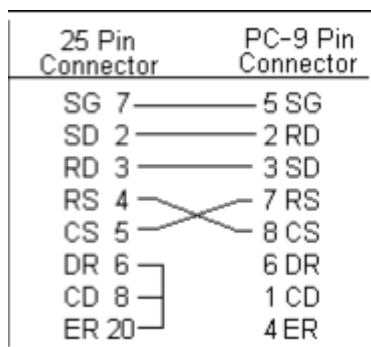
Kuva 6. Työssä käytetyn RS-232-sarjakaapelin liittimien pinni-layout [24].

Sarjakaapelin tulee olla oikeanlainen toimiakseen. Tässä työssä ostettiin DB25/DB25-kaapeli sekä DB9-irtoliittimiä ja kytkennän tein itse kuvan 8 kytkentäkaavion mukaan.



Kuva 7. DB9-irtoliittimen kytkentävaihe.

Alkuperäinen kaapeli leikattiin 25-pinnisen naarasliittimen päästä poikki ja tämän tilalle laitettiin DB9-naarasliitin mittaamalla yleismittarilla kaikki 25 johdinta ja merkkäämällä tarvittavat johtimet. Kun johtimet oli selvitetty, juotettiin ne DB9-liittimeen ja suojattiin erikokoisilla kutistesukilla. Kuvassa 8 on kytkentäkaavio sarjakaapelille.



Kuva 8. Kytkentäkaavio DB25-DB9-sarjakaapeliin [25].

Kytchentäkaaviosta tulkittiin kytkennän tarkoitus. Fanuc-ohjausyksikön päässä oleva DB25-liittimen pinni numero seitsemän ja tietokoneen päässä oleva DB9-liittimen pinni numero viisi yhdistetään toisiinsa, ja ne ovat molemmat SG (signal ground), mikä tarkoittaa signaalin maadoitusta. Maadoitus tehdään, jotta jännite-erot kaapelin eri päissä eivät olisi liian suuret. Pinnit kaksi ja kolme ovat molemmissa päissä tarkoitettu datan siirtämiseen. Pinni kaksi ohjainyksikössä on data output (send data) ja tietokoneessa data input (receive data). Näin tietoja saadaan siirrettyä työstökoneelta sarjakaapelia pitkin tietokoneelle. Pinnit kolme toimivat samalla tavalla, mutta toisinpäin. Tiedot saadaan pinnien kolme kautta siirrettyä tietokoneelta työstökoneelle. Ohjainyksikön DB25-liittimen pinni neljä (request to send) yhdistetään tietokoneen DB9-liittimen pinniin kahdeksan (clear to send). Ohjausyksikön pinni neljä pyytää lupaa lähettää tietoja tietokoneelle, johon tietokone vastaa pinnin kahdeksan välityksellä. DB25-liittimen pinni viisi ja DB9-liittimen pinni seitsemän toimivat samalla tavoin, mutta käänteisesti. Tietokone pyytää luvan lähettää tietoja ohjainyksikölle. Edellä mainitut kaksi liittosta muodostavat laitteiden välisen kätteen. Ohjausyksikön pinnit kuusi (data set ready), kahdeksan (carrier detector) ja 20 (data terminal ready) on yhdistetty toisiinsa, koska niitä ei käytetä. Kun pinni 20 ilmoittaa, että data terminaali on valmis, aktivoituu myös pinnit kuusi ja kahdeksan. Lisäksi ohjausyksikön päässä DB25-liittimen pinni yksi on kiinnitetty kaapelisuojaan, joka toimii suojamaadoituksena. [25.]

Joissain vanhemman sukupolven tietokoneissa on RS-232-portti valmiina, mutta tässä työssä käytetyssä kannettavassa tietokoneessa kyseistä porttia ei ollut, joten liityntä tie-

tokoneeseen tehtiin DB9-USB-adapterin kautta. USB-porttiin tuli määrittää oikeat portti-asetukset ennen kommunikointia. Näistä asetuksista puhutaan tarkemmin kohdassa 4.1.2.

Työn edetessä otettiin käyttöön RS-232-sarjaliikenteen testaaja, joka liitettiin tietokoneen DB9-USB-adapterin ja sarjakaapelin väliin vianhakutilanteessa. Vikana kommunikoinnissa oli kommunikoinnin avaaminen, jonka syyksi epäiltiin väärää tai vioittunutta kaapelia. Syyn oletetaan liittyvän ensimmäisenä käytettyyn DNC-ohjelmistoon. Ongelman tarkka syy ei ikinä selvinnyt sillä kommunikointiasetukset olivat identtiset kahdessa eri ohjelmistossa, mutta ensimmäisellä ohjelmistolla kommunikointi ei toiminut. Kun ohjelmisto vaihdettiin, kommunikointi alkoi toimimaan eikä ongelmia sen kanssa enää ilmennyt. RS-232-testaaja ei vaadi omaa virtaa, vaan se toimii sen läpi kulkevalla signaalilla. Testaaja osoittaa punaisilla ja vihreillä ledeillä datan lähetykseen ja vastaanottoon liittyviä tiloja PC:ltä työstökoneelle. Kuvassa 9 on RS-232-sarjaliikenteen testaaja. [26.]



Kuva 9. RS-232-sarjaliikenteen testaaja DB9-liittimellä [26].

Tärkeimmät ominaisuudet testausvaiheessa olivat RXD (receive data), TXD (transmit data), RTS (request to send) ja CTS (clear to send). Muut ledillä osoitetut tilat ovat DCD (carrier detect), DTR (data terminal ready), GND (signal ground), SDR (data set ready) ja RI (ring indicator). [26.] Testaajan avulla saatiin selville, että vika ei ollut tehdyssä sarjakaapelissa vaan jossain muualla.

4.1.2 Parametrit ja muut asetukset

Kommunikointi edellyttää sarjakaapelin lisäksi useiden parametrien ja muiden kommunikointiasetusten asettamista oikeiksi toimiakseen. Työstökoneessa kaikki tarvittavat parametrit löytyvät ohjausyksikön kohdasta parameters. Parametrinäkylässä sivulta SETTINGS 1 löytyy kohdat TVON, ISO, I/O, PWE ja TAPEF, jotka tulee määrittää. TVON (tape vertical on) saadessaan arvon yksi tarkistaa merkkien määrän yhdessä ohjelmablokissa ja tuottaa P/S 002 hälytyksen, jos merkkejä on pariton määrä. Tarkistukseen voidaan parametrin 18 bitin kuusi avulla sisällyttää ohjelman kommentit. ISO-kohdassa määritetään haluttu tulostusstandardi. Arvolla nolla käytetään EIA-koodia ja arvolla yksi ISO-koodia. PWE:n (parameter write enable) saadessa arvon yksi antaa muuttaa parametrien arvoja ja sen tulisi olla arvossa nolla, kun parametreja ei muuteta. TAPEF kertoo käytettävän nauhamuodon. [20, s. 25.]

I/O-arvo määrittää muut käytettävät parametrit, ja se määräytyy kytkentätavan perusteella. I/O-arvon tehtävä on kertoa ohjausyksikölle tietoja kytketystä laitteesta. Tässä työssä oleva FANUC 0M-C -ohjausyksikön RS-232-portti voidaan kytkeä työstökoneen sähkökaapissa kahteen porttiin. Portit ovat M5, joka on työssä käytössä, ja M74. I/O-arvona työssä käytettiin arvoa nolla. Kummatkin portit ovat samanlaisia rakenteeltaan ja käyttötarkoitukseltaan, mutta ne käyttävät eri parametreja ohjausyksikön kommunikoinnissa. M5-porttia kutsutaan portiksi yksi ja M74-porttia portiksi kaksi. Taulukossa neljä nähdään eri I/O-arvot ja niihin liittyvät parametrit ja parametrien funktiot. [25; 27, s. 212.]

Taulukko 4. I/O-arvot ja niihin liittyvät parametrit sekä parametrien funktiot [27, s. 212].

Funktio	Parametrin numero			
	I/O=0	I/O=1	I/O=2	I/O=3
Syöttö (NFED)	0002.7	0012.7	0050.7	0051.7
20 mA virtapiiri ASR33	0002.2	0012.2	Ei käytössä	Ei käytössä
Stop bitti (STP2)	0002.0	0012.0	0050.0	0051.0
I/O yksikön tyyppi asetus	0038.7 0038.6	0038.7 0038.6	0038.5 0038.4	0038.2 0038.1
Tiedon siirtonopeus	552	553	250	251
Liitin	M5	M5	M74	Portti 3

Tarkastellaan parametreja I/O-arvon ollessa nolla. Parametrin 2 bitti 7, jonka funktiona on NFED eli syöttö arvossa yksi ei ole output ja arvossa nolla syöttö on output. Bitti 2 standardiarvossa nolla määrittää kannettavan nauhanlukijan käytön ja arvossa yksi 20 mA:n virtarajapinnan käytön. Bitti 0 kertoo pysäytysbittien määrän. Jos bitti on arvossa nolla, on pysäytysbittejä yksi. Jos bitti on arvossa yksi, on pysäytysbittejä kaksi. Parametrin 38 bitti 7 yhdessä bitin 6 kanssa kertoo ohjausyksikölle, mikä I/O-laite on käytössä. Parametri 552 kertoo datan siirtonopeuden. Vaakariveillä esiintyvät parametrit ja niiden bitit kuvaavat samoja asioita eri I/O-asetuksilla. [27, s. 212–213.] Seuraavat kohdat on määritettävä tietokoneella DNC-ohjelmistossa ja ne on oltava samat kuin työstökoneen ohjausyksikössä:

Baud rate tarkoittaa datan siirtonopeutta. Se ilmoitetaan bitteinä sekunnissa. Jos baud rate on 4800, tarkoittaa se, että data liikkuu 4800 bittiä sekunnissa. Jos baud rate -arvot eivät ole samat, toinen lähettää tietoa nopeammin tai hitaammin kuin toinen sitä vastaanottaa, joka johtaa virhetilaan. Siirtonopeus saadaan selville ja muutettua ohjausyksikön parametreissa. Siirtonopeutta rajoittaa ohjausyksikön laitteiston kykeneväisyys. [28.]

Databitit tarkoittavat varsinaista dataa sisältävien bittien määrää. Databittejä voidaan lähettää viidestä yhdeksään, mutta yleensä niitä on seitsemän, kahdeksan tai yhdeksän. Tässä työssä olevan FANUC 0M-C -ohjausyksikön oletusarvoinen databittimäärä on seitsemän. [28.]

Pysäytys (stop) bittejä käytetään yksittäisten datapakettien lähettämisen lopetukseen. Ne sijaitsevat paketin lopussa ja niitä on yleensä yksi, yksi ja puoli tai kaksi. Pysäytysbitit määritetään ohjausyksikön parametreissa. [28.]

Pariteettibitillä (parity bit) suoritetaan yksinkertainen datan tarkistus virheiden varalta, koska sähköisesti dataa siirrettäessä on yleistä, että jotkut bitit vaihtavat arvoaan nollasta yhteen tai toisinpäin. Pariteettibittiä kutsutaan joskus tarkistusbitiksi. Pariteettibitin tyyppiä valitessa on viisi erilaista vaihtoehtoa. Nämä ovat parillinen, pariton, merkitty, välillinen sekä vaihtoehto, jossa pariteettia ei käytetä lainkaan. Parillisen ja parittoman pariteettibitin tarkoitus on tarkastaa binääridatan bittien lukumäärä, joiden arvo on yksi. Toi-

sin sanoen pariton ja parillinen pariteetti laskee binääriluvun jakojäännöksen eli modu-
lon. Pariteettibitti liitetään databitteihin sen vaatimalla tavalla. Jos on valittu parillinen
pariteetti ja datassa on kolme bittiä, joiden arvo on yksi, saa pariteettibitti myös arvon
yksi, jotta arvon yksi omaavia bittejä olisi parillinen määrä eli jakojäännös olisi nolla. Jos
bittejä, joiden arvo on yksi, olisi neljä, saisi pariteettibitti arvon nolla, koska arvon yksi
omaavia bittejä on jo valmiiksi parillinen määrä. Pariton pariteetti toimii samalla tavalla,
mutta se haluaa aina arvon yksi omaavia bittejä olevan pariton määrä eli jakojäännöksen
olevan yksi. Jos pariteetti huomaa virheen, pyytää vastaanottava kone datan uudelleen-
lähetystä. Parillisen ja parittoman pariteetin heikkous on virheiden havaitseminen, jos
virheitä on parillinen määrä. Merkitty pariteettibitti (mark parity) ja välillinen pariteettibitti
(spaced parity) ovat jatkuvia arvoja ja näillä pariteeteilla tarkkaillaan datan eheyttä. Mer-
kitty pariteetti saa aina arvon yksi ja välillinen pariteetti aina arvon nolla. Jos arvot eivät
ole oikeat, virhe on tapahtunut. Tässä työssä olevan FANUC 0M-C -ohjausyksikön ole-
tusarvoinen pariteetti on parillinen. [28; 29.]

Datan virtauksen ohjausta (flow control) käytetään datan siirrossa ja sitä kutsutaan myös
kättelyksi. Virtauksen ohjaus ohjaa datavirtaa vastaanottimen ja lähettimen välillä ja sen
tarkoituksena on onnistunut datan lähetys ja vastaanotto ilman datan menetystä. Kätte-
lyjä on kahdenlaisia. Ohjelmallinen kättely ja laitteistollinen kättely. Kommunikointi voi-
daan suorittaa myös ilman kättelyä, mutta vaarana on datan häviäminen. Vastaanotti-
men puskuriin mahtuu yksi bitti. Jos lähetin lähettää uuden bitin ennen kuin vastaanotin
on ehtinyt lukea puskurissa olevan bitin, häviää aikaisempi bitti aiheuttaen datahäviöitä.
Ohjelmallinen kättely koostuu kahdesta osasta, jotka ovat X-ON ja X-OFF. "X" kuvaa
lähetintä kommunikoinnissa. X-ON aloittaa tai jatkaa lähetystä, ja X-OFF keskeyttää lä-
hetysten. Vastaanotin viestii lähettimelle X-ON ja X-OFF ohjatakseen datan virtausta ja
vähentäen datahäviöitä. Laitteistollinen kättely on harvemmin käytössä, ja se tapahtuu
sarjaportin ja -kaapelin avulla fyysistä reittiä. Kättelyn suorittavat yleensä kohdassa 4.1.1
mainitut RTS (request to send) ja CTS (clear to send). Lähetin lähettää lähetyspyynnön
ja vastaanotin vastaa luvalla lähettää tarkastettuaan, että puskurissa on tilaa. Jos vas-
taanotin ei pysty lukemaan saapunutta dataa, lähettää se signaalin lähettimelle, jolloin
lähetys loppuu. [28; 30.] Taulukossa 5 esitetään tässä työssä käytetyt kommunikointiin
liittyvät asetukset ja parametrit.

Taulukko 5. Työssä käytetyt kommunikointiasetukset ja -parametrit.

Yleiset asetukset		Selitys
Liitin	M5	RS-232 portti liitetty M5-liittimeen
TVON	0	TV tarkistus pois päältä
ISO	1	Käytetään ISO standardia
I/O	0	Kytkeyty M5 liittimeen, joten käytetään I/O arvoa 0
PWE	0	PWE = 1 vain, jos parametreja muokataan
TAPEF	0	Käytössä FANUC kasetti
Muut asetukset		
Data bitit	7 (standardi)	7 databittiä on oletusarvo
Pariteetti	Parillinen (standardi)	Parillinen pariteetti
Datavirtauksen ohjaus	XON/XOFF	Käytetään kättelyssä ohjelmallista kättelyä
Parametri asetukset	Parametrin numero	
Syöttö (NFED)	0002.7 = 1	Syöttö ei ole output
20 mA virtapiiri ASR33	0002.2 = 0	Käytössä FANUC kasetti
Stop bitti (STP2)	0002.0 = 1	kaksi pysäytysbittiä
I/O yksikön tyyppi asetus	0038.7 = 0 0038.6 = 1	FANUC kasetin spesifiointi
Baud rate	552 = 10	Siirtonopeus 4800 bittiä/s

4.1.3 Datan siirto

Kun kommunikointi on saatu avattua, voidaan dataa lähettää sarjakaapelia pitkin kumpaankin suuntaan. Tässä työssä haluttiin työstökoneesta talteen parametrit, diagnostiikka, offsetit sekä työstöohjelmat.

Kun työstökoneelta lähetetään tietokoneelle dataa, on DNC-ohjelmisto asetettava aina ensin vastaanottotilaan. Aina dataa lähetettäessä työstökoneelta on kuvan 5 moodivalitsemesta valittava "EDIT"-moodi. Parametrit lähetetään valitsemalla parametrinäköymä ja painamalla MDI-ohjauspaneelista EOB- ja output/start-nappeja samanaikaisesti. Diagnostiikan saa siirrettyä valitsemalla diagnostiikkanäkymän ja painamalla output/start-nappia. Kaikki ohjelmat saadaan talteen menemällä ohjelmanäkymään kirjoittamalla data input napeilla 0–9999 ja painamalla output/start-nappia. Jos PWE-asetus ei ole arvossa yksi ja parametrin 10 bitin neljä arvo nolla, suojattuja ohjelmia 9000–9999 ei voida siirtää. Offsetit saa siirrettyä menemällä offsetinäköymään ja painamalla output/start-nappia. [25.]

Tietokoneelta lähetettäessä dataa työstökoneelle on DNC-ohjelmistoon avattava haluttu tiedosto ja ohjelmisto asetettava aina ennen lähetystä lähetystilaan sekä valittava ”EDIT”-moodi työstökoneesta. Parametrit lähetetään valitsemalla parametrinäkö ja painamalla MDI-ohjauspaneelista EOB- ja input-nappia samanaikaisesti. Diagnostiikan saa siirrettyä valitsemalla diagnostiikkanäkymän ja painamalla input-nappia. Kaikki ohjelmat saadaan siirrettyä menemällä ohjelmanäkymään ja painamalla input-nappia. Offsetit saa siirrettyä menemällä offsetnäkömään ja painamalla input nappia. [25.]

4.1.4 Drip-feeding

Drip-feeding mahdollistaa pitkien ja monimutkaisten CAD- ja CAM-ohjelmien ajon työstökoneilla, vaikka niiden ohjausyksiköiden muistit eivät riittäisikään ohjelman tallentamiseen. Ohjelma lähetetään osa kerrallaan ohjausyksikölle, joka suorittaa ohjelmaosan, poistaa sen ja siirtyy seuraavaan osaan. DNC-ohjelmisto tai USB-lukija asetetaan lähetystilaan ja työstökone laitetaan tape-tilaan ohjausyksikön moodivalitsimesta. Tämän jälkeen työstökone laitetaan suorittamaan ohjelmaa painamalla siihen tarkoitettua nappia. [31, s.188.] Testiohjelma ajettiin myös drip-feeding tyylillä. Operaation toteutuksesta puhtaan kohdassa 4.2.3.

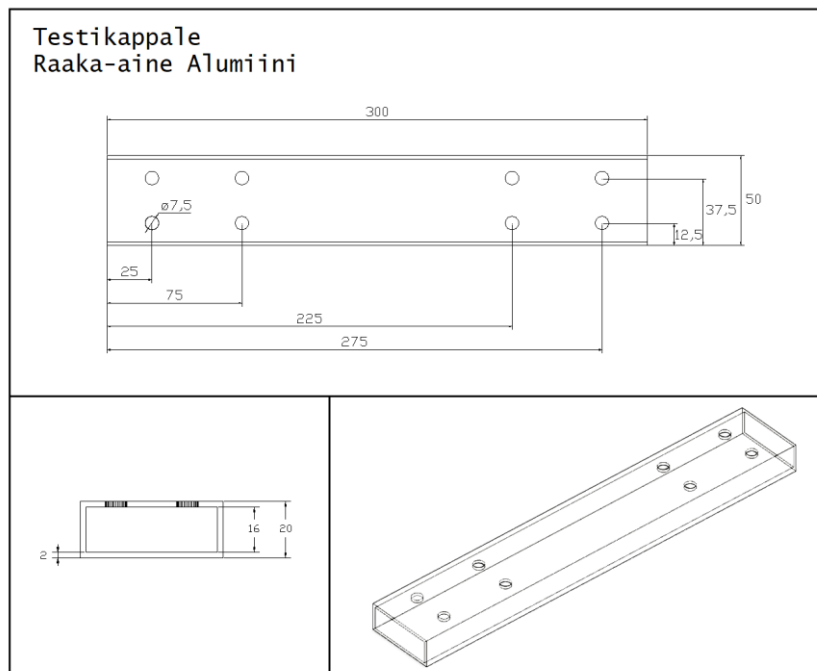
4.2 Testiohjelma

Kunnostuksen jälkeen työstökoneen käyttöönottoon sisällytettiin testiohjelman teko ja ohjelman suorittaminen työstökoneen ja kommunikoinnin toimivuuden todistamiseksi. Työstettävä kappale mallinnettiin CAD-sovelluksella, jonka jälkeen CAM-sovelluksella luotiin halutut työstöradat ja määritettiin muut tarvittavat asetukset.

4.2.1 Fusion 360 ja CAD/CAM

Testiohjelma luotiin Autodesk Fusion 360 -ohjelmalla, johon on mahdollisuus saada opiskelijalisenssi ilmaiseksi. Lisenssi on vuoden voimassa, mutta CAM-sovellus vain kuukauden. Kuukauden jälkeen CAM-sovelluksesta tulee rajoitettu, jolloin työstöratia voi edelleen suunnitella ja simuloida, mutta työstöratia ei voida enää postprosessoida. Tes-

tiohjelman luontia aloittaessa ensin täytyi mallintaa työstökappale Fusion 360 CAD -sovelluksella. Testiohjelmia tehtiin useita, mutta lopulta päädyttiin kokeilemaan yksinkertaista poraussykliohjelmaa.



Kuva 10. Testikappaleen osapiirros.

Testikappaleena oli suorakulmainen alumiiniputki, johon porattiin G81-poraussyklillä kahdeksan reikää. Tarkat mitat kappaleesta ja reikien sijoituksista löytyy kuvasta 10. Kappale 3D mallinnettiin Fusion 360 design -sovelluksella piirtämällä ensin oikean mitainen putki ja lisäämällä reiät oikean kokoisiksi oikeisiin kohtiin. Mallinnuksen aikana myös määritettiin sovelluksesta mallin materiaaliksi alumiini.

CAM-sovellukseen siirryttäessä oli ensin määritettävä asetuksia. Asetuksista on ensimmäiseksi mahdollisuus määrittää käytettävä työstökone, operaation tyyppi, työkoordinaatiston orientaatio ja origo sekä työstettävä malli. Tässä työssä koneeksi määritettiin geneerinen 3-akselinen työstökone, operaatioksi normaali jysrintä, työkoordinaatiston orientaatioksi mallin orientaatio ja origo asetettiin työstökappaleen vasempaan etuyläkulmaan. Seuraavaksi määritettiin työstettävän kappaleen ulottuvuudet ennen työstöä, jotka tässä työssä olivat samat kuin 3D-mallissa, joten valinta tehtiin kiinteästä mallista

ilman lisämääriä. Viimeisenä asetuksissa määritettiin postprosessointiin liittyen ohjelman numero, sekä käytettävät työkoordinaatistot. Tässä työssä työkoordinaatistoksi valittiin koordinaatisto kolme, joka tarkoittaa g-koodissa komentoa G56. Työstökappaleeseen on mahdollista asettaa useita työkoordinaatistoja.

Seuraavaksi siirryttiin työstöratojen tekemiseen. Ensimmäisenä valittiin porausvalikosta poraus, joka avaa uuden ikkunan porauksen määrittämiseksi. Ikkunassa määritetään käytettävä työkalu ja halutessa myös työkalun kanta. Tässä työssä kannaksi valittiin aiemmin mainittu BT-40 ja poran teräksi aiemmin valittu halkaisijaltaan 7,5 mm oleva terä. Jäähdytysneste otettiin pois käytöstä. Seuraavana määritettiin työstön syötöt ja nopeudet. Fusion 360 ohjelmistosta löytyy esiasetettuna syötöt ja nopeudet eri materiaalien poraukseen. Yleisesti karan pyörimisnopeuden laskeminen ei haittaa työstöä, mutta jos terä on halkaisijaltaan 1,5 mm tai pienempi, tulee suositeltuja nopeuksia noudattaa.

Taulukko 6. Fusion 360 esiasetetut alumiinin porauksen syötöt ja nopeudet

Esiasetetut alumiinin porauksen syötöt ja nopeudet	
Karan nopeus (rpm)	3880.83
Pintanopeus (m/min)	91.4399
Syöttönopeus vertikaali (mm/min)	436.594
Syöttö per karan kierros (mm)	0.1125
Vetäytymissyöttönopeus (mm/min)	436.594

Valmiista taulukoista löytyy referenssiarvoja syötöille ja nopeuksille eri terän halkaisijoilla ja työstettävillä materiaaleilla. Työstöohjelmille ei ole ehdottomia arvoja, mutta referenssiarvot ovat hyvä lähtökohta ohjelmien määrittämiseen. Tässä työssä testiohjelman nopeuksille annettiin arvot, jotka olivat noin 75 % esiasetetuista nopeuksista. Arvoille on olemassa kaavoja, joilla voidaan laskea haluttuja arvoja.

$$Karan\ nopeus = \frac{1000 \times pintanopeus}{\pi \times terän\ halkaisija} \quad (1)$$

Kaavassa yksi esitetty karan nopeuden laskukaava. Karan nopeuden yksikkö on kierrosta minuutissa, pintanopeuden yksikkö on m/min ja terän halkaisijan yksikkö on mm.

$$Syöttönopeus = karan\ nopeus \times terän\ hampaiden\ lkm \times lastukuorma \quad (2)$$

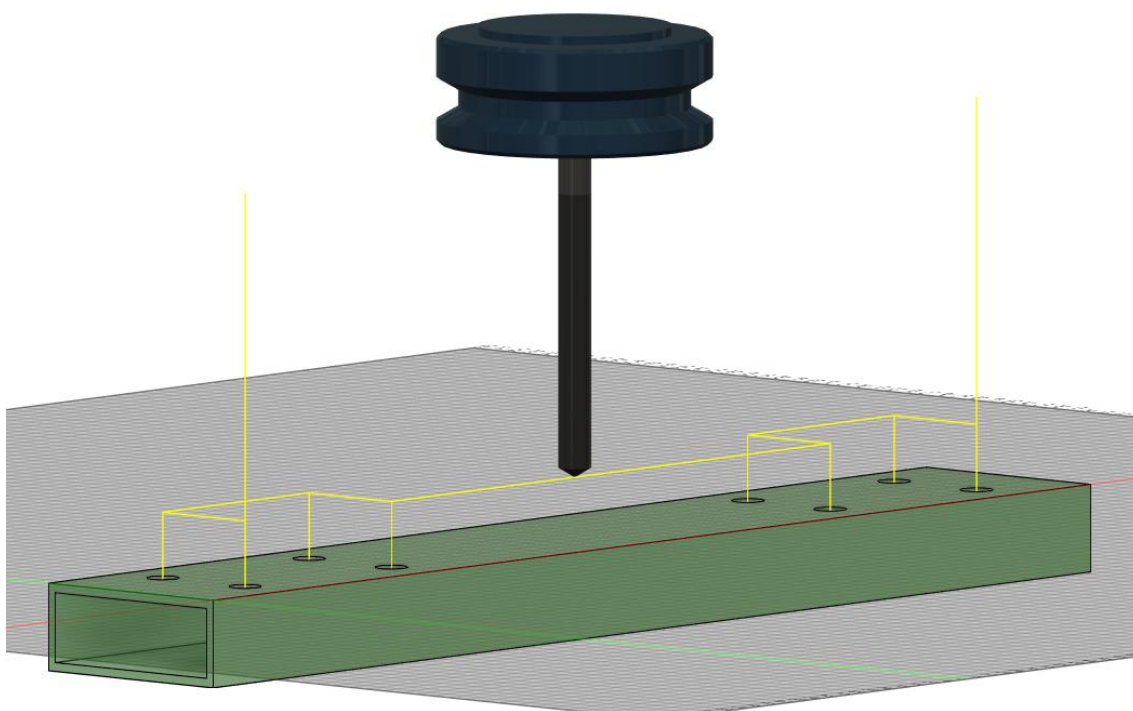
Kaavassa kaksi esitetty syöttönopeuden laskukaava. Syöttönopeuden yksikkö on mm/min, karan nopeuden yksikkö on kierrosta minuutissa ja lastukuorman yksikkö mm.

$$Pintanopeus = 0.2618 \times \text{terän halkaisija} \times \text{karan nopeus} \quad (3)$$

Kaavassa kolme esitetty pintanopeuden laskukaava. Pintanopeuden yksikkö on m/min, terän halkaisijan yksikkö on mm ja karan nopeuden yksikkö on kierrosta minuutissa.

Nopeuksien määrittämisen jälkeen määritetään CAM-sovelluksessa reikien geometria eli reikien sijainnit työstökappaleessa. Fusion 360 -ohjelmistossa merkittiin yksi rei'istä ja lisättiin valintaan kaikki reiät, joiden halkaisija oli samankokoinen. Ensimmäiseksi reiäksi valittiin origoa lähimpänä oleva reikä ja loppujärjestyksen sovellus optimoi turhien siirtymien välttämiseksi ja läpimenoajan parantamiseksi. Lopuksi määritettiin porauspylväiden korkeudet. Korkeuksiin lukeutuu turvakorkeus, vetäytymiskorkeus, syöttönopeuskorkeus, porauksen aloituskorkeus sekä porauksen lopetuskorkeus. Turvakorkeus on korkeus, johon terä menee ennen ja jälkeen työstön. Turvakorkeuden on oltava korkeammalla kuin vetäytymiskorkeus ja tässä työstöohjelmassa se oli 75 mm kappaleen yläpuolella. Vetäytymiskorkeus on korkeus, johon terä nousee ennen kuin se siirtyy uusiin porauskoordinaatteihin. Vetäytymiskorkeuden on oltava korkeammalla kuin syöttönopeuskorkeuden ja tässä työstöohjelmassa se oli 10 mm kappaleen yläpuolella. Syöttönopeuskorkeus kertoo korkeuden, johon terä liikkuu maksimi nopeudella ja aloittaa sen saavutettuaan liikkumisen annetulla syöttönopeudella. Tässä työssä se oli 5 mm kappaleen yläpuolella. Porauksen aloituskorkeus kertoo työstökoneelle kohdan, jossa terä kohtaa työstökohteen. Tässä työssä se oli 0 mm, koska Z-akselin nollakohta työkoordinaatistossa oli asetettu kappaleen pinnalle. Porauksen lopetuskorkeus on syvin korkeus, johon terä menee. Lopetuskorkeus saavutettuaan terä nousee vetäytymiskorkeuteen ja siirtyy seuraaviin porauskoordinaatteihin. Tässä työssä korkeus oli -7 mm, jotta terä läpäisi alumiinin, koska terän pää ei ollut tasainen.

Työstöradat tehtyä pystyttiin niitä simuloimaan Fusion 360 -sovelluksessa. Simuloinnissa esiintyvät työstöratojen virheet on helppo korjata. Näkymä työstöratojen simuloinnista on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Työstöratojen simulointi Fusion 360 -ympäristössä.

Kun työstöradat on simuloitu virheettömästi, voidaan ne postprosessoida. Postprosessointia varten on ohjelmalle annettava nimi tai numero ja määritettävä postprosessointi konfiguraatio, jota halutaan käyttää NC-tiedoston luontiin, eli mille ohjausyksikölle ohjelmaa ollaan luomassa. Tämä tehdään, jotta käytössä oleva ohjausyksikkö ymmärtäisi luotua g-koodia, koska eri ohjausyksiköiden g-koodi komennoissa saattaa olla laitekoh-
taisia eroja. Tässä työssä testiohjelman numeroksi annettiin 0910 ja konfiguraatioksi Fanuc. Ohjelma tulee valittuun kansioon NC-tiedostona, ja se voidaan avata ja sitä voidaan tarkastella ja muokata tarvittaessa, jollain tekstitiedostoja lukevalla sovelluksella. Fusion 360 -ohjelmisto suositteli Visual Studio Code -sovellusta ohjelmien tarkasteluun. Liitteessä 5 on esitetty luotu työstöohjelma.

Kun työstöohjelma oli luotu, siirrettiin se muistitikulle ja siirryttiin työstökoneen luokse kannettavan tietokoneen kanssa. Tietokoneelle ladattiin NC Link, joka on ilmainen DNC-ohjelmisto. Tietokoneen portille ja DNC-ohjelmistolle asetettiin kommunikointiasetukset taulukon 5 mukaan. Tehty NC-tiedosto avattiin DNC-ohjelmistossa ja laitettiin lähetystilaan odottamaan lähetystä. Tässä vaiheessa kommunikointiasetukset tarkistettiin viimei-

sen kerran. Työstökone asetettiin edit moodiin, siirryttiin tallennettujen ohjelmien näkymään painamalla ensin "PRGRM" nappia ja sitten näytön alapuolella olevista näppäimistä kohtaa "LIB". Tässä vaiheessa annettiin ohjelmanumero, jonka alle työstöohjelma haluttiin tallentaa ja painettiin "INPUT"-nappia. Ohjausyksikön alareunassa alkoi vilkkumaan "LSK" (label skip) -teksti, jolloin ohjausyksikkö odottaa dataa. Tietokoneella painettiin lähetystilan "START"-nappia ja lähetys alkoi. Tietokoneelta lähetysten tilaa voitiin seurata. Kun lähetys oli valmis, näkyi uusi ohjelma ohjausyksikön ohjelmakirjastossa.

4.2.2 WCS, offsetit ja työstökappaleen kiinnitys

Kun ohjelma oli saatu siirrettyä ohjausyksikölle, siirryttiin kiinnittämään kappaletta työstöpöydän yhteen t-uraan. Kiinnityksessä täytyy kiinnittää huomioita työstöratoihin, työstökappaleen orientaatioon, luotettavaan kiinnitykseen, sekä kiinnityksen toistettavuuteen. Tässä testiohjelmassa alumiiniputki kiinnitettiin putken päistä t-uraan kiinnityssarjan osilla. Oikea orientaatio varmistettiin suorakulman käytöllä kiinnitysvaiheessa. Kun alumiiniputki oli paikallaan, siirryttiin työkoordinaatiston G56 ja työkalu-offsetin määrittämiseen. Työkoordinaatiston G56 origoksi asetettiin työstökappaleen vasen etuyläkulma, joka valittiin jo työstöratoja luodessa CAM-sovelluksella.



Kuva 12. Alumiiniputken kiinnitys ja työkoordinaatiston origon sijainti.

Työkoordinaatisto asetettiin reunanlöytäjällä. X-akselin nollakohta asetettiin ensin asettamalla reunanlöytäjä X-akselin mukaisesti kappaleen reunaan ja kirjoittamalla konekoordinaatti paperille. Tästä koordinaatista vähennettiin reunanlöytäjän säde, jotta saatiin varsinainen tarkka reunan koordinaatti selville. Y-akselille tehtiin vastaava toimenpide Y-akselin mukaisesti. Z-akselin nollakohta saatiin laskemalla työkalun kärki hitaasti kappaleen päälle liikuttaen paperinpala työkalun ja kappaleen pinnan välissä, kunnes paperi ei enää liikkunut vapaasti. Koordinaatti otettiin talteen ja ohjausyksikkö laski varsinaisen nollakohdan komennon G43 avulla, joka lisäsi saatuun koordinaattiin työkalun offsetin eli pituuden. Työkalu mitattiin siihen tarkoitettussa telineessä. Kun koordinaatit oli saatu, syötettiin ne ohjainyksikön offset sivulle. Kone laitettiin MDI (manual data input) -moodiin ja siirryttiin offset-näkymään G56-koordinaatiston kohtaan. MDI-ohjauspaneelissa kirjoitetaan haluttu koordinaatti, esimerkiksi X-251.38, ja painetaan "INPUT"-näppäintä, jolloin koordinaatti tallennetaan ohjausyksikön muistiin työkoordinaatiston G56-koordinaatiksi. Kun kaikki koordinaatit oli asetettu työkoordinaatistolle ja työkalun pituus haluttuun offset-numeroon, voitiin ohjelmaa alkaa suorittamaan. Tässä työssä työkalu asetettiin työkalukaruselliin paikalle kaksi ja käytettiin työkalu-offsettia numero kaksi. Konekoordinaatistossa referenssipiste on nolla joka akselilla, ja työkoordinaatiston origoksi asetettiin konekoordinaatit X-430,378; Y-200,496 ja Z-257,618. Työkoordinaatistossa edeltävät koordinaatit ovat nolla joka akselilla ja koneen referenssipisteet ovat X430,378; Y200,496 ja Z257,618. Työkalun offset arvoksi mitattiin -138 mm ja se asetettiin TLO kohtaan kaksi.

4.2.3 Ohjelman ajo

Kun ohjelma oli siirretty ohjausyksikköön ja työkoordinaatisto sekä työkalu-offset määritetty, pystyttiin ohjelmaa alkaa suorittamaan. Ensimmäisenä ohjelma suoritettiin ilman mitään työkalua ja nopeudet sekä syötöt laskettiin hitaimmiksi mahdollisiksi ohittamalla varsinaiset nopeudet ohjauspaneelistä. Ohjausyksikkö laitettiin auto moodiin ja ohjelma käynnistettiin. Ohjelman suoritusta tarkkailtiin mahdollisten virheiden tai törmäysvaarojen varalta pitäen käsi jatkuvasti hätä-seis-kytkimellä. Kun ohjelma oli suoritettu onnistuneesti ilman visuaalisia virheitä, nostettiin nopeudet normaaleiksi ja siirryttiin käyttämään työkalua. Ohjelma ajettiin läpi onnistuneesti. Ohjelmaan tehtiin pieniä optimointeja nopeuksiin, korkeuksiin ja muihin tarvittaviin kohtiin ja suoritettiin uudestaan. Kone suoriutui työstöstä hyvin, ja ohjelma toimi tavoitteiden mukaisesti.



Kuva 13. Alumiiniputki onnistuneen työstön jälkeen.

Ohjelma ajettiin myös drip-feeding-tyylillä läpi, jotta sen toiminta pystyttiin todentamaan. Operaationa drip-feeding-toteutus oli samanlainen kuin muistista ajaminen. Tietokone asetettiin lähetyvalmiuteen, mutta työstökoneesta valittiin auto moodin sijasta "TAPE"-moodi ja painettiin syklin aloitusnappia. LSK alkoi vilkkumaan näytön alakulmassa, jolloin tietokoneelta aloitettiin lähetyksen aloitusnappia. Työstökone alkoi suorittamaan työstöohjelmaa suoraan tietokoneelta, ja ohjelma suoritettiin ongelmitta. Ohjelman ajoon liittyvistä vaiheista ja ohjausyksikön käytöstä tehtiin kirjalliset ja kuvalliset käyttöohjeet yrityksen käyttöön.

5 Kartoitus ohjauksen uudistamisesta

Työstökoneiden ohjausten uusimisen taustalla voi olla monia syitä, kuten uudistamisen halvempi hinta verrattuna uuden työstökoneen hankintaan. Modernimpi ohjaus voi mahdollistaa tehostuneen tuotannon, helpottuneen operoinnin, koneen pidemmän käyttöiän sekä uusia ominaisuuksia ohjaukseen, jotka soveltuvat paremmin nykyaikaisten ohjelmien ajoon. Moderni ohjaus voi myös lisätä sisäistä muistia ja vähentää vikatilojen ja konerikkojen määrää, joka johtaa säästöihin korjauskustannuksissa ja koneseisakeissa. Uudet modernimmat servomootorit ovat herkempiä ja parantavat työstöjen laatua. [32.]

Työstökoneen ohjausyksikön uudistamista miettiessä täytyy miettiä konekohtaisesti, minkälainen uudistus olisi paras kyseiseen tilanteeseen pitäen mielessä mahdolliset hyödyt, haitat ja kustannukset sekä uusien osien yhteensopivuus muiden osien kanssa. Haittapuolia uudistamisessa voi olla esimerkiksi uudistamisen aikana oleva työseisakki, jolloin työstöjä ei voida suorittaa. Kustannukset vaihtelevat halutun modernisoinnin laajuuden ja modernisoitavan ohjauksen tyypistä. Ohjausta uudistettaessa mahdollisen asennuspalvelun kustannukset täytyy myös huomioida. [32.] Tämän työn työstökeskukseen ohjausta ei alettu uusimaan, koska yrityksellä ei ole tarvetta ohjauksen uudistamiseen lähitulevaisuudessa.

Ohjausta uudistettaessa on monia vaihtoehtoja ja lukuisia yrityksiä, jotka tarjoavat erilaisia mahdollisuuksia uusien työstökoneiden ohjausta. Markkinoilla myydään erilaisia niin sanottuja tee-se-itse-ratkaisuja ohjauksen modernisointiin. Yhtenä esimerkkinä tee-se-itse-ratkaisuista on Centroid-nimisen yrityksen Acorn-niminen ohjauskortti, jonka hinta on 299–698 dollaria riippuen valitusta ohjelmistoversiosta. Ohjauskorttiin voidaan kytkeä 1–4 servomootoria, karamoottori, kahdeksan itse määritettävää tuloa ja lähtöä, kuten esimerkiksi rajakytkimiä ja voitelujärjestelmän pumpun. Acornin oma ohjauskortin prosessori ohjaa työstökoneen liikkeitä, joten käyttäjän ei tarvitse luottaa oman tietokoneensa prosessoriin kriittisissä ohjauksissa. Ohjauskortti voidaan liittää Ethernet-kaapelilla mihin tahansa Windows 10 -käyttöjärjestelmällä toimivaan tietokoneeseen. Centroid tarjoaa tee-se-itse-paketin mukana myös ohjelmiston laitteen ohjaukseen. Ohjelmisto sisältää ohjelmallisen ohjauspaneelin, jossa konetta voidaan ohjata ja määrittää asetuksia liittyen koneeseen ja työstöihin. Ohjauspaneeli on suunniteltu käytettäväksi kosketus-

näytöllä, mutta se ei ole välttämätön. Centroid tarjoaa myös asennuspalveluita ja opetusta paikan päällä, sekä opastusvideoita käyttöönottovaiheessa ja ongelmatilanteissa. Centroidilla on myös oma CNC-tukifoorumi, jota Centroidin omat teknikot valvovat ja ylläpitävät. Tee-se-itse ratkaisut ovat yleensä halvin mahdollinen tapa uusia ohjausta, mutta nämä ratkaisut yleensä sisältävät myös vähiten ominaisuuksia ja hyötyjä. Centroid tarjoaa Acorn tee-se-itse-ohjauskortin lisäksi myös vastaavia kalliimpia ohjauskortteja, jotka sisältävät enemmän ominaisuuksia. [33.]

Ohjausta voidaan modernisoida myös uusimalla ohjaukseen liittyviä komponentteja. Yksi vaihtoehto on uusia ainoastaan akselikortit ja pääprosessori uusilla nykyaikaisemmilla osilla. Tällöin ohjauspaneelit ja koneen yleinen käytettävyys pysyy samana, mutta koneen prosessointikyky voi kasvaa moninkertaiseksi aikaisempaan verrattuna, joka lyhentää työkiertojen kestoa. Tämä ratkaisu on nopeampi toteuttaa kuin moni muu ratkaisu, mutta uudet kortit ja prosessori voivat maksaa tuhansia euroja. Mahdollisesti myös ainoastaan koneen ohjauspaneelit voidaan uusia. [32.]

Jos halutaan parantaa koneen tehokkuutta ja tarkkuutta voidaan prosessorin ja akselikorttien lisäksi uusia esimerkiksi servomoottorit, servomoottorien vahvistinmoduulit ja enkooderit uusimatta kuitenkaan ohjauspaneeleita. Tällöin uusien osien asentaminen alkaa viemään enemmän aikaa ja vaatii enemmän tietotaitoa modernisoinnista. Hyödyt kasvavat, mutta myös hinta modernisoinnilla kasvaa. Yksittäinen uusi servomoottori, kuten myös yksittäinen vahvistinmoduuli, voi maksaa uutena tuhansia euroja. [32.]

Markkinoilla myydään myös ohjauksen uudistamiseen tehtyjä kokonaisuuksia. Esimerkiksi Centroid tarjoaa vastaavia kokonaisuuksia, jotka sisältävät uuden ohjauspaneelin, servomoottorit ja uuden valmiiksi johdotetun ohjauskaapin, jolla korvataan olemassa oleva ohjauskaappi. Hinnat voivat vaihdella 10 000–25 000 euron välillä riippuen koneen tyypistä ja koosta sekä halutuista ominaisuuksista. [33] Tässä luvussa mainitut hinnat pätevät tämän luvun kirjoitushetkellä ja voivat vaihdella.

6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli vanhan seisonnassa olleen työstökoneen kunnostus, ohjauksen uudistamisen kartoitus sekä työstöohjelmien ajaminen, mikä edellytti kommunikoinnin toimimista tietokoneen ja työstökoneen välillä sekä kykyä operoida työstökoneita. Ohjauksen uudistamisen kartoitus tehtiin yleisellä tasolla eri mahdollisuuksista, koska uudistaminen voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Haasteita kunnostusvaiheessa oli pistoliittimien liian suuri koko oven paineilmasylinterissä ja uusien paineletkujen jäykkyys, mikä hankaloitti letkujen sijoittamista omille paikoilleen. Tästä syystä täytyi ostaa pienempiä pistoliittimiä ja työssä käytettävä letku vaihdettiin myöhemmin vastaavaan joustavampaan letkuun, mikä helpotti paineilmalinjojen sijoittamista. Muita ongelmia tai haasteita kunnostusvaiheessa ei ilmaantunut. Haasteena kommunikoinnissa oli kommunikoinnin avaaminen ensimmäistä kertaa, mikä selvitettiin vaihtamalla DNC-ohjelmistoa. Ongelman syy ei ikinä selvinnyt, sillä kommunikointiasetukset olivat identtiset kahdessa eri ohjelmistossa, mutta ensimmäisellä ohjelmistolla kommunikointi ei toiminut. Kun ohjelmisto vaihdettiin, kommunikointi alkoi toimimaan eikä ongelmia sen kanssa enää ilmennyt. Ensimmäistä kertaa työstökone käynnistettäessä ilmaantui ongelma, jossa työstökone ei pystynyt ajamaan referenssipisteeseen ilman ylimatkustus hälytystä X-akselilla. Ongelmaksi todettiin ohjelmalliset raja-arvot, jotka saatiin ohjausyksikön avulla poistettua. Haasteena testiohjelman teossa oli kokemuksen puute vastaavasta, mutta ohjelmistoon löytyi paljon ohjeita, joiden avulla ohjelma saatiin tehtyä.

Työ oli mielekäs ja vaihteleva, koska siinä päästiin tekemään teoreettista työtä, mekaanista kunnostustyötä, sekä ohjelmallista työtä ja ongelmanratkaisua. Haastavin ja palkitsevin osa-alue oli mielestäni kommunikointi tietokoneen ja työstökoneen välillä, ja se vaati paljon tiedon selvittämistä verkkolähteistä ja valmistajien manuaaleista. Myös useat CNC-foorumit olivat iso apu koittaessa ymmärtää syvempää kokonais kuvaa. Työn tavoitteet saavutettiin, ja yritys oli tyytyväinen tuloksiin.

Opinnäytetyön aikana opin paljon työstökoneista, niiden toiminnasta ja numeerisesta ohjauksesta. Pääsin näkemään työn kohteena olleen työstökoneen mekaanista rakennetta ja ohjauksen toimintaa. Kommunikointi vaiheessa opin paljon yleistä tietoa sarjaliiken-

teestä ja sen toiminnasta. Testiohjelman tekovaiheessa käytin ensimmäistä kertaa työohjelmille tarkoitettua CAD/CAM-ohjelmistoa, mikä opetti perusteita vastaavien ohjelmien käytöstä.

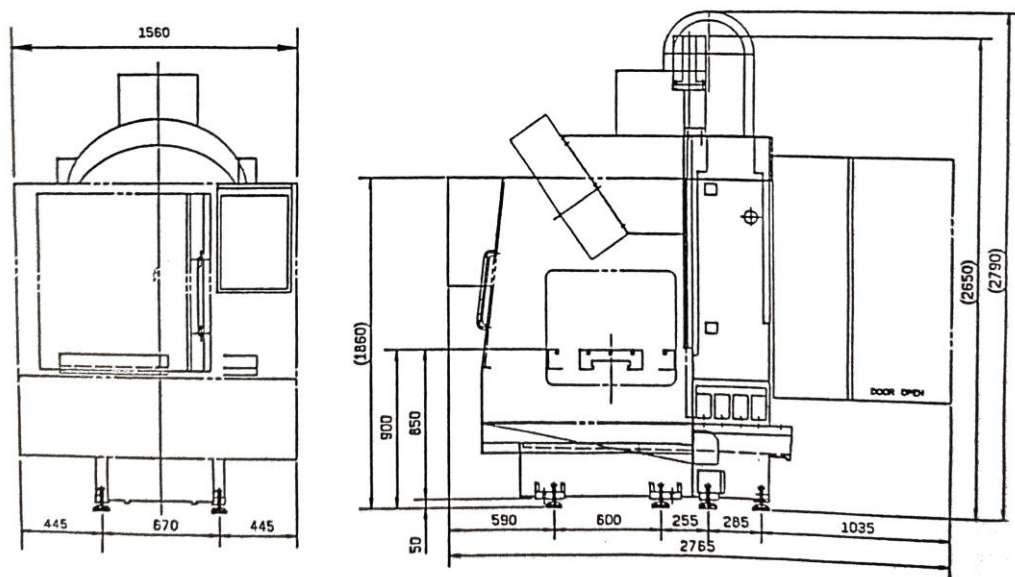
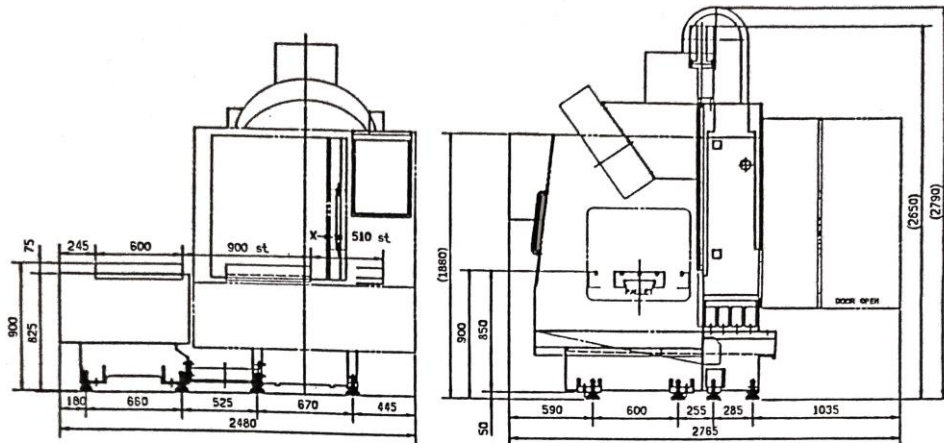
Lähteet

- 1 Ce Zhang, Jianming Yang. A History of Mechanical Engineering. Singapore: Springer, 2020.
- 2 CNC Machines. What Is A CNC Machine? URL: <https://cncmachines.com/what-is-a-cnc-machine>. Luettu 11.5.2020.
- 3 Learn Mechanical. Types of CNC Machine. URL: https://learnmechanical.com/cnc-machine/#Types_of_CNC_Machine. Luettu 11.5.2020.
- 4 Learn mechanical. Lathe Machine: Definition, Introduction, Parts, Types, Operations, and Specifications. URL: <https://learnmechanical.com/lathe-machine/>. Luettu 11.5.2020.
- 5 Learn mechanical. Milling Machine: Definition, Parts, Types, Operations. URL: <https://learnmechanical.com/milling-machine/>. Luettu 11.5.2020.
- 6 ESABNA. What Is a CNC Plasma Cutter? URL: <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/what-is-a-cnc-plasma-cutter.cfm>. Luettu 12.5.2020.
- 7 ESABNA. How Does Laser Cutting Work? URL: <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/how-does-laser-cutting-work.cfm>. Luettu 12.5.2020.
- 8 Engineering. The What, Why and How of 5-Axis CNC Machining. URL: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/11930/The-What-Why-and-How-of-5-Axis-CNC-Machining.aspx>. Luettu 20.5.2020.
- 9 Open Oregon. Vertical Milling Center Machine Motion. URL: <https://openoregon.pressbooks.pub/manufacturingprocesses45/chapter/unit-3-vertical-milling-center-machine-motion/>. Luettu 20.5.2020.
- 10 McNeel Wiki. A Brief Explanation of CNC Machines and How They Work. URL: <https://wiki.mcneel.com/rhino/cncbasics>. Luettu 20.5.2020.
- 11 RGBSI. What is CNC machining? URL: <https://blog.rgbsi.com/what-is-cnc-machining>. Luettu 12.5.2020.
- 12 All3DP. 6-Axis CNC – What Is It Exactly? URL: <https://all3dp.com/2/for-mika-6-axis-cnc-what-is-it-exactly/>. Luettu 12.5.2020.

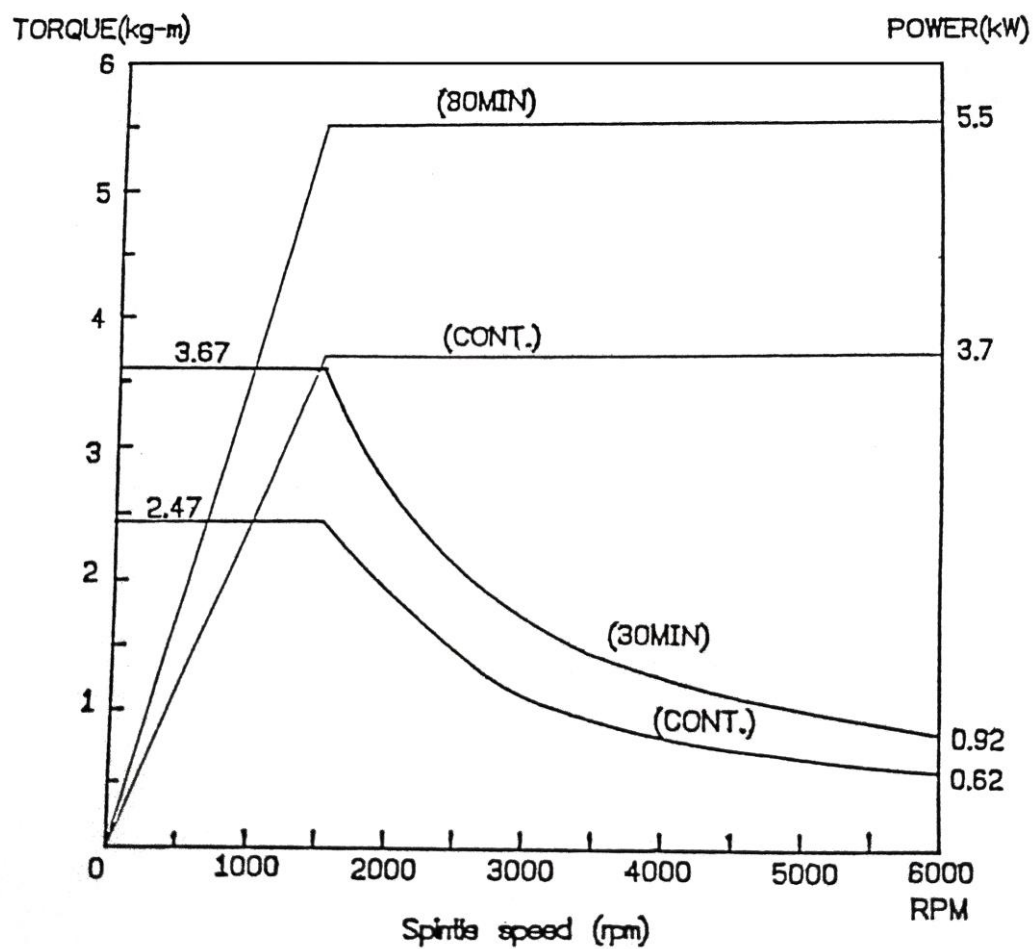
- 13 O'Reilly. Basic Mechanical Engineering, 2e, 2nd edition. Chapter 22: Manufacturing systems: NC, CNC, DNC, and Robotics URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/basic-mechanical-engineering/9789353063948/xhtml/chapter022.xhtml>. Luettu 10.6.2020.
- 14 Autodesk. G-code: The CNC Programming Language. URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>. Luettu 26.6.2020.
- 15 Mike Mattson. CNC Programming Principles and Applications. Albany, NY: Delmar, 2002.
- 16 David S. Hayden. 7 Easy Steps to CNC Programming: Book II: Beyond the Beginning. Ligonier, PA: David S. Hayden, 2004.
- 17 Argo. History. URL: <https://www.argo.com.tw/about/19.htm>. Luettu 8.7.2020.
- 18 Machine Tools. LIH CHANG MACHINERY CO., LTD. URL: <https://www.machinetools.com/en/companies/41523-lih-chang-machinery-co-dot-ltd>. Luettu 8.7.2020.
- 19 Vertical Tapping & Drilling Center ARGO. Instruction & Maintenance Menu. Model: A-1 (A.P.C). Fanuc. 1995.
- 20 GE Fanuc Automation. Computer Numerical Control Products. Series 0 / 00 / 0-Mate Operation and Maintenance Manual, GFZ-61397E/02, 1996.
- 21 FANUC. FANUC History. URL: <https://www.fanuc.eu/dk/en/who-we-are/fanuc-history>. Luettu 30.6.2020.
- 22 FANUC Series 0 / 00 / 0-Mate. For Machining Center OPERATOR'S MANUAL, B-61404E/08, 2002.
- 23 P. N. Rao. CAD/CAM: Principles and Applications. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2004.
- 24 Active Experts. RS232 Serial Port Connector Pin Layout. URL: <https://www.activexperts.com/serial-port-component/tutorials/pinout232/>. Luettu 16.6.2020.
- 25 Servo System. Fanuc 0 Communications Parameters (PDF). URL: http://cncszerviz.com/docs/FANUC_0_COMMUNICATIONS_PARAMETERS.pdf. Luettu 25.5.2020.

- 26 Cru Power. RS-232 (DB9) Link Tester (PDF). URL: <https://www.crupower.fi/ASM-232.pdf>. Luettu 16.6.2020.
- 27 GE Fanuc Automation. Computer Numerical Control Products. Series 0 / 00 / 0-Mate. Maintenance Manual. GFZ-61395E/06, 1997.
- 28 Circuit Digest. RS232 Serial Communication Protocol: Basics, Working & Specifications. URL: <https://circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications>. Luettu 19.6.2020.
- 29 Computer Hope. Parity Bit. URL: <https://www.computerhope.com/jargon/p/paritybi.htm>. Luettu 19.6.2020.
- 30 Windmill Software. When to Use RS-232 Handshaking or Flow Control? URL: <https://www.windmill.co.uk/handshaking.html>. Luettu 19.6.2020.
- 31 C. Elanchezhan, S. Sunder Selwyn, G. Shanmuga Sundar. Computer Aided Manufacturing, 2nd edition. New Delhi: Laxmi Publications, 2007
- 32 Cutting Tool Engineering. Retrofits Keep CNC Machines in Business. URL: <https://www.ctemag.com/news/articles/retrofits-keep-cnc-machines-business>. Luettu 24.7.2020.
- 33 Centroid. Acorn CNC Controller. URL: https://www.centroidcnc.com/centroid_diy/acorn_cnc_controller.html. Luettu 25.7.2020.

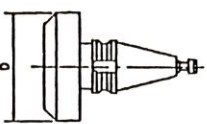
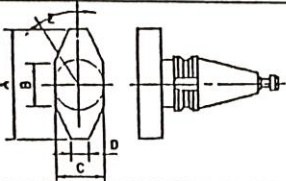
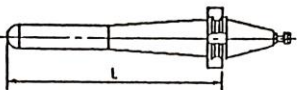
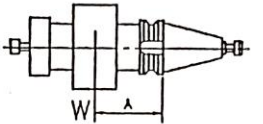
Työstökoneen ulkomitat



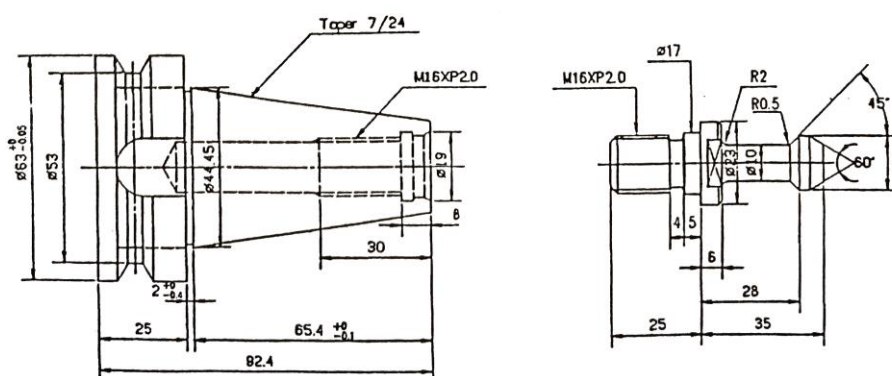
Karan kierrosluku- ja vääntömomenttikaavio



BT-40 kartion mitat ja työkalujen maksimimitat































	MAKSIMI TYÖKALUMITAT, KUN TYÖKALUMAKASIINI ON TÄYSI	$\phi 635\text{MM}$
	ILMAN SÄÄTÖ TYÖKALUA 	D=100MM
DMAX	ERIKOIS- TYÖKALU 	A=100MM B= 50MM C= 90MM D= 50MM E= 105°
LMAX		L=200MM
WMAX		A=125MM W=3.5KG

BT-40



Ohjauspaneelin nappien ja valitsimien funktiot

FIG 5-2-1
SYMBOLS FOR INDICATION APPEARING

1 	Cutting feed	11 	Dry run	21 	Optional stop
2 	Cutting feed Override	12 	Spindle start	22 	Optional block skip
3 	Rapid feed Override	13 	Spindle stop	23 	Edit MODE
4 	Spindle speed Override	14 	Cycle start	24 	TAPE MODE
5 	Main spindle	15 	Feed hold	25 	AUTO MODE
6 	Memory protect	16 	Operation error	26 	Manual data input
7 	Z axis cancel	17 	Power ready	27 	Handle MODE
8 	Tool holder rotation	18 	Single block	28 	Cutting Override MODE
9 	Coolant pump	19 	Machine lock	29 	Rapid feed MODE
10 	Coolant pump	20 	Program stop	30 	Reference point return

Työstökoneen käyttöönottoon liittyvä testiohjelma

%

O0910

G90 G94 G17 G49 G40 G80

G21

G28 G91 Z0.

G90

(Poraussykli)

T2 M06

S2900 M03

G56

G00 X25. Y12.5

G43 Z75. H02

G00 Z15.

G98 G81 X25. Y12.5 Z-7. R10. F300.

Y37.5

X75.

Y12.5

X225.

Y37.5

X275.

Y12.5

G80

Z75.

(Referenssipisteisiin palaaminen ja ohjelman lopetus)

G28 G91 Z0.

G90

G49

G28 G91 X0. Y0.

G90

M30

%